

Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages

Directives et guide explicatif

Québec

Recherche et rédaction
Lise Veilleux, Régie du bâtiment du Québec
Sylvain Gagnon, ing., FPInnovations
Christian Dagenais, ing. M.Sc., FPInnovations

Collaboration
Claire Bélanger, Régie du bâtiment du Québec

Édition
Marie-Claude Masson

Révision linguistique
David Rancourt

Graphisme
Isabelle Cayer

Remerciements
La Régie du bâtiment du Québec souhaite remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce guide produit en collaboration avec les experts du centre de recherche FPInnovations (www.fpinnovations.ca).

Note importante :
Le présent document s'adresse spécifiquement aux professionnels travaillant dans la construction de bâtiments en bois d'au plus 12 étages. Un tel bâtiment conçu et construit en respectant les conditions déterminées à la partie 1 – Lignes directrices et en tenant compte des spécifications techniques décrites à la partie 2 – Guide explicatif du présent guide est présumé satisfaire aux normes prévues au Code national du bâtiment 2010, mod. Qc. Cela ne dispense toutefois pas le requérant d'obtenir toute autre autorisation requise par toute loi ou tout règlement, le cas échéant.

Dépôt légal - 2015
Bibliothèque et Archives nationales du Québec,
Bibliothèque et Archives Canada,

ISBN (imprimé) : 978-2-550-72475-9
ISBN (PDF) : 978-2-550-72476-6

Avant-propos

La Loi sur le bâtiment a pour objectifs d'assurer la qualité de construction d'un bâtiment et de certains équipements ainsi que la sécurité du public qui y accède. Cette loi regroupe, dans un même cadre législatif, l'ensemble des lois et des règlements qui sont sous la responsabilité de la Régie du bâtiment du Québec (RBQ). En application de cette loi, un bâtiment doit être conçu et construit conformément aux exigences décrites au Code de construction du Québec, chapitre I – Bâtiment (CNB 2010 modifié).

La construction en bois d'au plus 6 étages a été introduite dans l'édition du CNB 2010 modifié, ci-après appelé Code. Il est maintenant permis de construire un bâtiment à charpente en bois d'au plus 6 étages sous certaines conditions stipulées à la division B du Code. Les prescriptions du Code ne font pas de distinction quant au système constructif. Les dispositions s'appliquent à tous les systèmes de construction combustible, soit la construction à ossature légère, les systèmes de poutres et colonnes, le bois d'ingénierie structural, le *bois lamellé-collé*, le *bois lamellé-croisé* ou la *construction hybride* (bois, béton et/ou acier).

Malgré l'introduction des dispositions permettant la construction en bois d'au plus 6 étages, le Code impose tout de même certaines limites à l'utilisation du bois. Si on se fie aux recherches dans le domaine et au développement de la construction en bois sur le plan international, la limite du nombre d'étages semble restrictive, au Canada, dans le cas des structures de *construction massive en bois*. Les recherches ont en effet démontré qu'il est possible de construire des structures sécuritaires de *construction massive en bois* à des hauteurs supérieures à 6 étages, et qu'à ces hauteurs, au lieu d'une ossature légère, l'utilisation d'une *construction massive en bois* s'impose. Ce type de construction comprendra des éléments en *bois lamellé-collé*, en *bois de charpente composite* ou encore en *bois lamellé-croisé*.

Le besoin d'adapter les normes canadiennes de construction pour permettre l'utilisation équitable du bois est reconnu par d'autres provinces comme par le Québec. D'ailleurs, la RBQ a participé à l'élaboration des propositions pour le Code national du bâtiment du Canada 2015 (CNB 2015).

Présentement, les dispositions du Code ne tiennent pas compte des particularités de chaque système constructif ; la limite de 6 étages s'applique à toute construction combustible, peu importe le système constructif. Un concepteur qui souhaite faire ériger un bâtiment de plus de 6 étages en bois doit formuler une demande de mesures équivalentes à la RBQ, et cette demande doit comporter la démonstration que les objectifs du Code sont atteints.

En vertu de l'article 127 de la Loi sur le bâtiment, la RBQ peut approuver, aux conditions qu'elle détermine, *« une méthode de conception, un procédé de construction de même que l'utilisation d'un matériau différent de ce qui est prévu à un code ou à un règlement adopté en vertu de la présente loi lorsqu'elle estime que leur qualité est équivalente à celle recherchée par les normes prévues à ce code ou à ce règlement »*. Ainsi, la RBQ peut déterminer les conditions permettant l'utilisation du bois en tant que matériau différent de ce qui est prévu par le Code pour la construction d'un bâtiment de plus de 6 étages. Ces conditions sont présentées sous la forme de lignes directrices, développées

en collaboration avec les experts du centre de recherche FPInnovations. La RBQ et ses experts mandatés sont d'avis que les concepteurs et les constructeurs ayant les compétences requises et qui respectent les lignes directrices du présent guide ainsi que les autres normes et exigences applicables pourront concevoir et construire des bâtiments de *construction massive en bois* qui offriront le même niveau de qualité et de sécurité que les bâtiments conçus avec d'autres matériaux.

Ces lignes sont basées sur l'édition 2010 du Code et les normes y référant, et sur le *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* (GBGH), publié par FPInnovations en 2014. Ces conditions s'appuient également sur le projet de démonstration d'un bâtiment en bois de grande hauteur situé dans la ville de Québec. Celui-ci est l'un des trois projets sélectionnés lors d'un appel de projets de bâtiments de grande hauteur lancé en 2013 par Ressources naturelles Canada et le Conseil canadien du bois. Enfin, les conditions minimales énoncées dans ce guide sont basées sur les résultats d'essais effectués au Conseil national de recherches Canada (CNRC), qui viennent confirmer les niveaux de performance de ce type de construction. En mars 2013, un groupe de travail, sous la responsabilité de la RBQ et composé de ministères, d'organismes et de services incendie, a été formé. La RBQ a consulté ce groupe de travail pour les lignes directrices visant la *construction massive en bois* de plus de 6 étages.

Comme pour tout autre matériau de construction, le bois est assujetti à certaines exigences minimales selon les usages prévus. On peut penser ici à la résistance structurale ou à la résistance au feu, que ce soit comme matériau brut, comme élément d'un système ou comme matériau de finition. Les restrictions établies dans le Code s'appliquent autant au bois qu'aux autres matériaux de construction, qui ne sont limités en fait que par leurs caractéristiques intrinsèques par rapport à l'usage pressenti.

Il importe pour les concepteurs et les constructeurs de bien connaître les caractéristiques et le comportement du bois, particulièrement en matière de sécurité incendie, de comportement structural et de durabilité. Les lignes directrices présentées à la partie 1 de ce guide comportent les dispositions minimales à respecter pour assurer la qualité de la construction et la sécurité des occupants. La partie 2 – Guide explicatif fournit des renseignements et des conseils utiles pour guider les concepteurs et les constructeurs de bâtiments en bois de grande hauteur. Lorsqu'une particularité ou une disposition n'est pas explicitement ou directement énoncée dans ce guide, les dispositions du Code prévalent.

Afin de permettre une utilisation équitable du bois dans la construction au Québec, la RBQ accepte de permettre la construction d'un bâtiment d'au plus 12 étages de *construction massive en bois*, sans que celui-ci fasse l'objet d'une demande de mesures équivalentes, si toutes les lignes directrices énoncées à la partie 1 du présent guide sont respectées et que les éléments énoncés au Guide explicatif sont considérés.

Table des matières

Introduction

Le présent guide fournit les indications nécessaires afin que les concepteurs de bâtiments en bois de grande hauteur puissent réaliser leurs travaux de conception et de préparation des plans et devis. Le guide est élaboré de façon à fournir aux concepteurs les renseignements et les concepts généraux selon le système choisi. Les éléments et les détails prévus pour respecter les lignes directrices de ce guide doivent être incorporés dès la conception d'un projet.

La partie 1 – Lignes directrices comporte plusieurs sections, dont l'une porte sur les conditions de base, qui décrivent les conditions générales minimales pour tout projet de construction d'un bâtiment en bois de plus de 6 étages. Les sections suivantes comportent quant à elles des dispositions particulières qui précisent et complètent les conditions de base. Le projet doit respecter intégralement les dispositions énoncées à la partie 1 du présent guide, soit : les conditions de base, les usages mixtes, le degré de résistance au feu, les pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu, les vides techniques verticaux et les cages d'escalier, le système de gicleurs, la séparation des milieux différents, la propagation de la fumée, les règles de calcul, la structure et les attaches, la sécurité et la protection incendie durant la construction, et enfin les directives d'ordre administratif.

Le projet doit respecter intégralement les dispositions énoncées à la partie 1 du guide.

À titre de complément, la partie 2 – Guide explicatif apporte des précisions techniques et des explications supplémentaires pour chacune des dispositions énoncées dans les Lignes directrices.

Les parties 3, 4 et 5 fournissent, quant à elles, des renseignements et des exigences additionnels concernant l'équipe de travail et la coordination des travaux, l'entretien du bâtiment et les autres lois et règlements applicables au projet.

Par ailleurs, des recommandations techniques complémentaires peuvent être obtenues dans le *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* (GBGH), publié par FPInnovations. Ce document est disponible à l'adresse Internet suivante : gbgh.fpinnovations.ca.

Généralités

Les solutions acceptables de la division B du Code de construction, chapitre I – Bâtiment 2010 (Code) limitent l'utilisation d'éléments de charpente en bois aux bâtiments d'au plus 6 étages et ayant une superficie maximale prescrite. Ce guide présente des dispositions à respecter en ce qui concerne la *construction massive en bois* pour certains types de bâtiments de plus de 6 étages. Tous les éléments de conception et de construction non cités dans ce guide doivent satisfaire aux exigences s'appliquant aux constructions incombustibles et aux bâtiments de grande hauteur énoncées au Code.

Tous les éléments de conception et de construction non cités dans ce guide doivent satisfaire aux exigences s'appliquant aux constructions incombustibles et aux bâtiments de grande hauteur énoncées au Code.

La conception d'un bâtiment en bois de plus de 6 étages nécessite une perspective beaucoup plus large que la simple mise en place d'une approche structurale et de résistance au feu. Les équipes de conception doivent tenir compte de l'intégration de tous les systèmes du bâtiment, de son enveloppe et de leurs niveaux de performance, et ce, dès le début du processus de conception. De plus, une surveillance étroite des travaux durant les étapes de construction est obligatoire pour assurer la conformité aux plans et devis. Ce guide aborde ces aspects et présente les principes et les solutions potentielles pour aider les concepteurs et les équipes de construction à naviguer à travers une conception intégrée et multidisciplinaire.

Définitions

Afin de bien comprendre le guide, il est essentiel de connaître certains termes qui ne sont pas explicitement présentés dans le Code. Les termes additionnels définis ci-dessous sont présentés en caractères *italiques* dans le présent guide et s'appliquent aux lignes directrices qui y sont énoncées.

Bois de charpente composite (*structural composite lumber*, SCL) : produits dérivés du bois (bois en placage stratifié [LVL], bois reconstitué de longs copeaux parallèles [PSL], bois de copeaux laminés [LSL] ou bois de copeaux orientés [OSL]) préalablement approuvés par le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC), fabriqués pour une utilisation structurale et évalués conformément à la norme ASTM D5456.

Bois lamellé-collé (*glue-laminated timber, glulam*) : produit du bois obtenu par collage sous pression de lamelles classées dont le fil est essentiellement parallèle, qui satisfait à la norme CSA O122 ou qui est préalablement approuvé par le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC), et fabriqué en usine conformément à la norme CSA O177.

Bois lamellé-croisé (*cross-laminated timber*, CLT) : bois d'ingénierie structural préfabriqué conformément à la norme ANSI/APA PRG 320, à partir d'au moins 3 couches orthogonales de bois de sciage ou de *bois de charpente composite*, laminées à partir du collage des couches longitudinales et transversales à l'aide d'un adhésif structural afin de former un élément structural de forme rectangulaire, droit et plane destiné à des applications de toit, de plancher ou de mur.

Construction hybride : type de construction mixte composé d'éléments structuraux de *construction massive en bois*, de béton, de maçonnerie ou d'acier (p. ex. : dalle composite bois-béton).

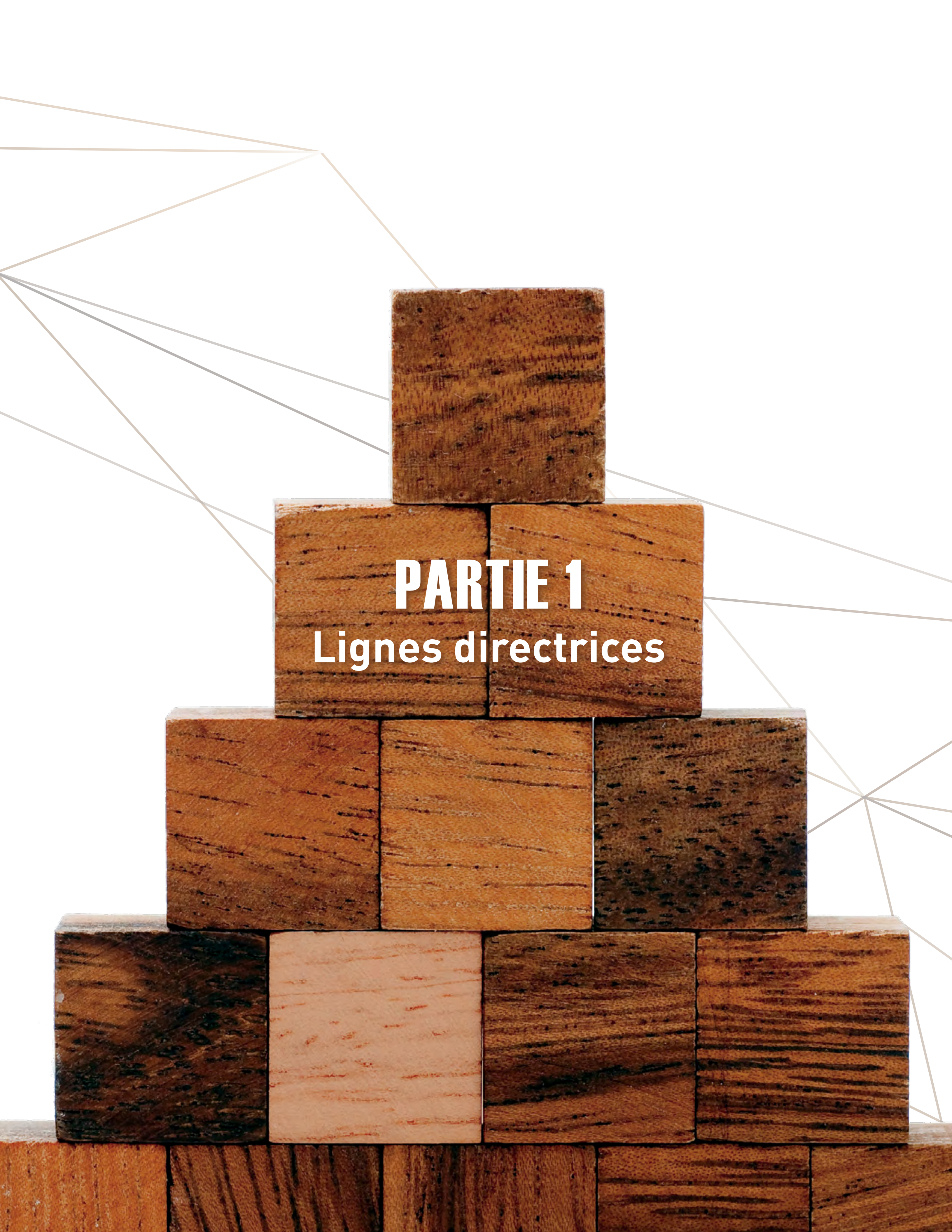
Figure 1 Exemple de *construction hybride.*
(Dalles massives en bois avec structure en acier) (Photo : Binderholz)



Construction massive en bois : type de construction combustible dans lequel on assure un certain degré de sécurité incendie en utilisant des éléments structuraux ainsi que des planchers et des toits de bois de grandes dimensions, et en supprimant les vides de construction des planchers, des murs et des toits. Les éléments structuraux de ce type de construction sont notamment un système structural à poutres et colonnes de bois massif, de *bois lamellé-collé* ou de *bois de charpente composite*, ainsi qu'un système de dalles massives en *bois lamellé-croisé* ou d'autres éléments de *bois de charpente composite*; tous ces éléments structuraux doivent avoir des degrés de résistance au feu supérieurs à ceux prévus pour la construction de gros bois d'œuvre décrite au paragraphe 3.1.4.6.1) de la division B du Code.

Encapsulation : méthode de protection passive contre l'incendie visant à utiliser des matériaux ou membranes de protection thermique pour protéger les éléments structuraux et atténuer les effets thermomécaniques de l'incendie sur ces éléments structuraux, de sorte que les effets des éléments structuraux combustibles sur la gravité de l'incendie soient retardés pour une période spécifiée.

Podium : structure secondaire, ou plate-forme horizontale, servant à surélever la structure principale par rapport au niveau du sol.



PARTIE 1
Lignes directrices

Partie 1. Lignes directrices

1.1. Conditions de base

1.1.1. Le bâtiment peut être de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*.

1.1.2. Le bâtiment doit être du groupe C (habitation), du groupe D (établissement d'affaires) ou une combinaison de ces deux usages. Le bâtiment ne doit pas constituer un établissement de soins (groupe B, division 3). Les usages du groupe A, division 2 et du groupe E ainsi que le garage de stationnement sont permis au premier étage et en sous-sol à certaines conditions (voir section 1.2 – Usages mixtes).

1.1.3. La hauteur de bâtiment doit être :

1.1.3.1. d'au plus 12 étages en *construction massive en bois* ou en *construction hybride* ; ou

1.1.3.2. d'au plus 12 étages en *construction massive en bois* ou en *construction hybride* sur un *podium* de 1 étage (voir section 1.2 – Usages mixtes, pour le type de construction du *podium*).

Aucun des planchers (incluant les mezzanines) ne doit être à plus de 40 m du niveau moyen du sol. À noter que la construction hors toit définie à l'article 3.2.1.1 du Code n'est pas comprise dans ce calcul.

1.1.4. Sous réserve de la dimension du *podium* (voir section 1.2 – Usages mixtes), l'aire du bâtiment doit être d'au plus 1500 m².

1.1.5. Les cloisons intérieures doivent être de *construction massive en bois* ou de matériaux incombustibles (p. ex. : ossature légère métallique).

1.1.6. Aucune toiture végétalisée n'est autorisée sur les bâtiments de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*.

1.1.7. Le toit d'un bâtiment de *construction massive en bois* ou de *construction hybride* doit être accessible par un escalier.

1.1.8. Toutes les exigences relatives à un bâtiment de grande hauteur s'appliquent aux bâtiments de *construction massive en bois* ou de *construction hybride* dont le plancher du dernier étage est à plus de 18 m du niveau moyen du sol.

1.1.9. Sauf indication contraire dans une autre section du présent guide, tous les éléments de conception et de construction du bâtiment doivent être conçus pour satisfaire aux exigences d'une construction incombustible.

1.1.10. Le service de sécurité incendie de la municipalité doit être consulté dès la planification du projet au sujet de sa réglementation particulière et des besoins pour la lutte contre l'incendie.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.1 du présent guide.

1.2. Usages mixtes

Le bâtiment peut abriter un usage principal du groupe A, division 2 (établissement de réunion), du groupe E (établissement commercial) ou un garage de stationnement au premier étage et en sous-sol aux conditions suivantes :

1.2.1. Si le bâtiment comprend un *podium*, celui-ci doit être de construction de béton et conforme aux dispositions du Code s'appliquant à une construction incombustible, et :

1.2.1.1. le *podium* doit être d'au plus 1 étage,

1.2.1.2. la superficie du *podium* est illimitée,

1.2.1.3. une tour peut être construite au-dessus du *podium* (le *podium* peut être surmonté d'au plus une tour),

1.2.1.4. le degré de résistance au feu de la séparation coupe-feu horizontale entre le *podium* et la tour située au-dessus doit être d'au moins 2 heures,

1.2.1.5. la tour au-dessus du *podium* doit avoir au plus 12 étages et une superficie d'au plus 1500 m²,

1.2.1.6. la hauteur entre le niveau moyen du sol et le dernier plancher (incluant les mezzanines) doit être d'au plus 40 m ;

1.2.2. Lorsque les usages des groupes A et E sont situés au premier étage d'un bâtiment construit sans *podium* et dont tous les étages hors sol sont de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*, l'aire du bâtiment doit être d'au plus 1500 m².

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.2 du présent guide.

1.3. Degré de résistance au feu

1.3.1. Les planchers doivent former une séparation coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures.

1.3.2. Dans un bâtiment comportant des logements occupant plus de 1 étage, les planchers qui sont situés entièrement à l'intérieur de ces logements, y compris ceux au-dessus de sous-sols, doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure, mais il n'est pas obligatoire qu'ils forment une séparation coupe-feu.

1.3.3. Les mezzanines doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure.

1.3.4. Les murs, les poteaux, les arcs porteurs ainsi que les assemblages et les attaches doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures.

1.3.5. Le toit doit avoir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure.

1.3.6. La couverture doit être de classe A.

1.3.7. Les séparations coupe-feu entre les suites, et entre un corridor commun et une suite doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure.

1.3.8. Pour les étages de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*, le degré pare-flamme des portes situées dans une séparation coupe-feu doit être d'au moins 45 minutes, en étant déterminé conformément à la norme CAN/ULC S104.

1.3.9. Les murs, les planchers et les plafonds des garages de stationnement doivent être construits en béton.

1.3.10. Tous les éléments structuraux d'une *construction massive en bois* doivent être entièrement protégés par une *encapsulation*. Une *construction massive en bois* est jugée adéquatement protégée par :

1.3.10.1. l'utilisation d'au moins 2 panneaux de gypse de type X de 16 mm directement fixés sur les éléments structuraux ; ou

1.3.10.2. l'utilisation de matériaux ou d'assemblages qui, lorsque exposés à la courbe de température spécifiée à la norme CAN/ULC S101, permettent d'empêcher la température d'atteindre 300 °C à la face exposée des éléments structuraux pendant au moins 1 heure.

1.3.11. Les vides de construction des planchers, des murs porteurs et des murs non porteurs nécessitant un degré de résistance au feu doivent être remplis d'isolant incombustible, sauf si les éléments structuraux massifs en bois se trouvant dans ces vides sont protégés par au moins 2 panneaux de gypse de type X de 16 mm directement fixés sur ceux-ci.

1.3.12. La résistance au feu pour un matériau, un assemblage de matériaux ou un élément structural d'une *construction massive en bois* ou d'une *construction hybride* doit être déterminée à partir de :

1.3.12.1. résultats d'essais réalisés conformément à la norme CAN/ULC S101 ;

1.3.12.2. selon l'annexe D-2.11 du Code ;

1.3.12.3. selon les méthodes de calcul fournies à l'annexe B de la norme CSA O86-14 ; ou

1.3.12.4. selon la version 2014 du chapitre 8 du *Manuel sur le bois lamellé-croisé* (édition canadienne).

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.3 du présent guide.

1.4. Pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu

1.4.1. La continuité d'une séparation coupe-feu doit être maintenue à sa jonction avec une autre séparation coupe-feu, un plancher, un plafond, un toit ou un mur extérieur par des produits homologués pour l'usage particulier désiré.

1.4.2. Les murs, cloisons ou planchers doivent former une séparation coupe-feu et être construits de façon à constituer un élément continu.

1.4.3. Les ouvertures dans une séparation coupe-feu doivent être protégées par des dispositifs d'obturation, des gaines ou d'autres moyens conformes aux sous-sections 3.1.8, 3.1.9 et 3.2.8 de la division B du Code.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.4 du présent guide.

1.5. Vides techniques verticaux et cages d'escalier

1.5.1. Les cages d'escalier d'issue et les puits d'ascenseur peuvent être entièrement ou en partie de *construction massive en bois*, de construction incombustible ou de *construction hybride*.

1.5.2. Les escaliers d'issue doivent être isolés les uns des autres et du reste du bâtiment par une séparation coupe-feu étanche à la fumée ayant un degré de résistance au feu au moins égal à celui qui est exigé pour le plancher qu'ils traversent.

1.5.3. Les escaliers en ciseaux ne sont pas permis dans une *construction massive en bois* ou dans une *construction hybride*.

1.5.4. Tous les vides techniques verticaux, dont les chutes à déchets, doivent être isolés du reste du bâtiment par une séparation coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures et être de construction incombustible.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.5 du présent guide.

1.6. Système de gicleurs

1.6.1. Le bâtiment doit être entièrement protégé par gicleurs. Le système de gicleurs doit être conçu, installé et mis à l'essai selon la norme NFPA 13.

1.6.2. La tuyauterie du système de gicleurs doit être incombustible.

1.6.3. Si les cages d'escalier d'issue sont de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*, il doit y avoir au moins une tête de gicleur sous tous les paliers des escaliers d'issue.

1.6.4. Les balcons extérieurs ayant une profondeur mesurée perpendiculairement au mur extérieur de plus de 610 mm doivent être protégés par gicleurs. Pour la conception des balcons, voir la section 1.7, Séparation des milieux différents, à la page suivante.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.6 du présent guide.

1.7. Séparation des milieux différents

1.7.1. La conception des assemblages agissant comme séparation des milieux différents doit être réalisée en conformité avec la partie 5 du Code – Séparation des milieux différents.

1.7.2. L'enveloppe extérieure doit être conçue de façon à contrôler la condensation potentielle et à gérer adéquatement les transferts de chaleur, d'air et d'humidité dans l'enveloppe du bâtiment, et à s'adapter aux mouvements potentiels du bâtiment.

1.7.3. La structure des balcons extérieurs ne doit pas être en porte-à-faux.

1.7.4. Les balcons doivent être en matériaux incombustibles ou en *construction massive en bois* recouverte de matériaux incombustibles.

1.7.5. Le revêtement extérieur doit être en matériaux incombustibles ou doit satisfaire aux exigences de l'article 3.1.5.5 du Code lorsque soumis à l'essai conformément à la norme CAN/ULC S134.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.7 du présent guide.

1.8. Propagation de la fumée

1.8.1. Les issues desservant des aires de plancher occupées par des bureaux (usage du groupe D) devront être protégées par un vestibule, sauf si l'aire de plancher comporte un corridor commun.

1.8.2. Des moyens mécaniques doivent être conçus et mis en place pour établir une pression positive dans les escaliers d'issue et le corridor commun d'un usage du groupe C ou du groupe D, et dans le vestibule d'un usage du groupe D. Une différence de pression minimale de 12 Pa doit être maintenue.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.8 du présent guide.

1.9. Règles de calcul, structure et attaches

1.9.1. Conformément à l'article 4.1.1.3 du Code, les éléments structuraux d'un bâtiment doivent être conçus de manière à avoir une résistance et une intégrité structurale suffisantes pour supporter effectivement et en toute sécurité les charges, effets des charges et autres sollicitations pouvant être raisonnablement prévues durant la vie utile du bâtiment. Entre autres, les bâtiments et leurs éléments structuraux doivent être conçus pour garantir leur résistance ultime (résistance et stabilité) ainsi que leur tenue en service (déformation et vibration). Les effets du retrait du bois dans la charpente de *construction massive en bois* ou de *construction hybride* doivent également être considérés en tout temps.

1.9.2. Les calculs de la charpente en bois et des connexions (attaches) doivent être réalisés selon la norme CSA O86-14, la norme canadienne pour les règles de calcul des charpentes en bois, et conformément à l'article 4.3.2 de cette norme, « Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction ».

1.9.3. L'agencement des éléments du système structural et leurs interactions doivent assurer la résistance à l'effondrement généralisé du système en cas de rupture localisée, conformément à l'article 4.3.3 de la norme CSA O86-14.

1.9.4. Le système porteur de charges de gravité dans les bâtiments en bois de grande hauteur doit être conçu en conformité avec la norme CSA O86-14 et doit s'adapter à la déformation latérale associée à la réponse sismique des bâtiments. L'ensemble du système structural doit être conçu pour maintenir les effets P-δ prévus.

1.9.5. Les systèmes de gicleurs doivent être conçus pour s'adapter aux fléchissements ou aux déformations provoqués par les charges sismiques et le retrait. Ces systèmes doivent demeurer fonctionnels après un tremblement de terre pour limiter les dégâts causés par les incendies qui pourraient survenir.

1.9.6. Les éléments structuraux des bâtiments doivent être conçus pour résister à l'effet le plus critique déterminé selon les charges latérales dues au vent et les charges dues aux séismes. Toutefois, le système de résistance aux forces latérales doit également être conçu en tenant compte des charges et des effets dus aux séismes (voir Système de résistance aux forces sismiques [SFRS], section 2.9), conformément à la sous-section 4.1.8 du Code.

1.9.7. Les charges et effets dus au vent doivent être évalués conformément au Code, sous-section 4.1.7. Le commentaire I du Code fournit la procédure qui peut être utilisée pour effectuer l'analyse statique d'un bâtiment soumis à une charge de vent. L'article 4.1.7.2.1) du Code exige l'utilisation de procédures dynamiques ou expérimentales pour les bâtiments dont la hauteur est supérieure à quatre fois leur largeur minimale efficace ou supérieure à 60 m, ou pour les autres bâtiments dont les propriétés les rendent sensibles aux vibrations induites par le vent.

1.9.8. Les charges et effets dus aux séismes doivent être évalués conformément au Code. Les valeurs R_d et R_o ainsi que les restrictions correspondant aux systèmes utilisés doivent être conformes au tableau 4.1.8.9 du Code. Pour les autres types de SFRS, les valeurs R_d et R_o doivent être évaluées conformément à l'article 4.1.8.9.5) du Code. Sinon, les facteurs $R_d = 1,0$ et $R_o = 1,0$ doivent être utilisés comme il est spécifié au tableau 4.1.8.9 du Code pour des SFRS autres que ceux définis.

1.9.9. Le calcul sismique se doit d'être conforme aux objectifs généraux du Code, à savoir : résister aux fortes secousses pour protéger la vie et la sécurité des occupants de l'immeuble et le public en général ; limiter les dégâts au bâtiment lorsque surviennent des secousses allant de faibles à modérées ; et veiller à ce que les bâtiments de protection civile puissent continuer à être occupés et qu'ils demeurent fonctionnels après une forte secousse, même si un minimum de dommages est prévu dans ce type de bâtiment.

1.9.10. Le concept de calcul fondé sur la capacité doit être utilisé dans la conception sismique des bâtiments en bois de grande hauteur. Cette approche de conception est fondée sur la simple compréhension de la façon dont une structure est capable de supporter des déformations importantes lorsqu'elle est soumise à d'importants tremblements de terre.

1.9.11. Les plans soumis par l'ingénieur en structure et par l'ingénieur du fournisseur de composants structuraux doivent indiquer clairement les charges appliquées aux éléments structuraux pour le type de bâtiment proposé et pour l'emplacement prévu.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.9 du présent guide. Des exigences supplémentaires, concernant notamment les éléments requis sur les plans et devis, sont citées à la section 2.9. Il est à noter que ces exigences additionnelles font également partie des lignes directrices et doivent être respectées.

Des exigences supplémentaires sont citées à la section 2.9. Elles font également partie des lignes directrices et doivent être respectées.

1.10. Sécurité et protection incendie durant la construction

1.10.1. Prévoir un dégagement de 6 m entre un matériau combustible et une bouilloire.

1.10.2. Prévoir un dégagement de 3 m entre les boîtes à rebuts pour matériaux combustibles et les issues.

1.10.3. Lors de travaux de construction, s'assurer que la chute à déchets est de matériaux incombustibles ou se termine à 2 m de la boîte à rebuts.

1.10.4. S'assurer que l'alimentation en eau, comme prévu à l'article 3.2.5.7 du Code, est fonctionnelle avant le début de la construction.

1.10.5. Clôturer le chantier afin d'en restreindre l'accès, tout en s'assurant de maintenir un accès aux véhicules d'urgence.

1.10.6. Prévoir un escalier permettant l'accès à tous les étages en tout temps durant la construction du bâtiment.

1.10.7. Des voies d'accès menant au chantier de construction doivent être prévues pour les véhicules du service d'incendie et maintenues en bon état.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.10 du présent guide.

1.11. Directives d'ordre administratif

1.11.1. La surveillance des travaux est requise et doit être réalisée sous la supervision d'un architecte et/ou d'un ingénieur, selon le champ d'expertise.

1.11.2. Le concepteur responsable du projet doit fournir au propriétaire ou au copropriétaire les recommandations sur l'entretien du bâtiment sous forme de programme, notamment pour la gestion des dégâts d'eau, l'entretien de la structure, l'infiltration d'eau et l'effet du retrait de bois ; il doit aussi mentionner l'importance de garder les éléments structuraux en bois complètement encapsulés, entre autres (voir partie 4 – Entretien du bâtiment, dans le présent guide).

1.11.3. Le programme d'entretien remis aux propriétaires doit être consigné dans un registre conservé sur les lieux.

1.11.4. Des attestations signées et scellées par les professionnels (architecte et ingénieur) qui assument la responsabilité de la surveillance des travaux doivent être fournies au propriétaire ou au copropriétaire à la fin des travaux. Ces attestations doivent confirmer que les travaux ont été réalisés conformément aux directives d'ordre technique énoncées précédemment et aux plans et devis de construction.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.11 du présent guide.



PARTIE 2

Guide explicatif

Partie 2. Guide explicatif

La partie 2 – Guide explicatif apporte des précisions techniques et des explications supplémentaires pour chaque section de la partie 1 – Lignes directrices du présent guide. Ces renseignements et ces conseils utiles guideront les concepteurs et les constructeurs de bâtiments en bois de grande hauteur. De plus amples renseignements techniques peuvent également être obtenus dans le *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* (GBGH), publié par FPInnovations (gbgh.fpinnovations.ca).

2.1. Conditions de base

Il est interdit d'utiliser une ossature légère de bois que ce soit pour la structure ou pour les cloisons.

Le bâtiment peut être entièrement de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*, où on utilise un mélange de bois, de béton et/ou d'acier. Le *bois lamellé-croisé*, le *bois lamellé-collé* et les *bois de charpente composite* peuvent être employés. Il est interdit d'utiliser une ossature légère de bois dans ce genre de construction, que ce soit pour la structure ou pour les cloisons.

Conformément aux termes définis dans le Code, un bâtiment du groupe C (habitation) désigne un bâtiment, ou une partie de bâtiment, où des personnes peuvent dormir, sans y être hébergées en vue de recevoir des soins ou des traitements, et sans y être détenues. Un bâtiment du groupe D (établissement d'affaires) désigne quant à lui un bâtiment, ou une partie de bâtiment, utilisé pour la conduite des affaires ou la prestation de services professionnels ou personnels. Il n'est donc pas permis d'abriter un établissement de soins (groupe B, division 3), ce qui inclut une résidence privée pour aînés soumise à la Loi sur les services de santé et les services sociaux (chapitre S-4.2) appliquée par le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS).

Le Code reconnaît que le niveau de risque augmente avec la hauteur et l'aire des bâtiments. Traditionnellement, les solutions prescriptives de la sous-section 3.2.2 de la division B du Code déterminaient les superficies de bâtiments proportionnellement à la hauteur en nombre d'étages, peu importe le type de construction. Par ailleurs, aucune limite de superficie ou de hauteur n'est imposée aux bâtiments de plus de 6 étages, qui doivent être de construction incombustible. Dans ces bâtiments, les éléments porteurs et les planchers doivent posséder un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures afin de fournir un niveau de compartimentation jugé acceptable.

La détermination des hauteurs et des superficies des lignes directrices suit en principe la philosophie utilisée historiquement par le Code, tout en imposant une limite de hauteur de bâtiment par rapport au niveau du sol. Cette disposition sert à limiter l'utilisation de mezzanines, qui pourrait augmenter notablement la hauteur du bâtiment (en mètres) et augmenter aussi les distances de parcours des moyens d'évacuation.

Le Code reconnaît également que le niveau de sécurité est bonifié lorsqu'un système de gicleurs automatiques est utilisé et qu'une compartimentation contre l'incendie est fournie à partir d'éléments structuraux et séparatifs ayant le degré de résistance au feu requis selon l'usage et la taille du bâtiment.

Les limites de hauteur et d'aire de bâtiment permises à la division B du Code n'ont pas encore été révisées afin de refléter les avancées de la science et de l'ingénierie du bâtiment, de nouvelles techniques élaborées par les services incendie, ainsi que des nouveaux systèmes et produits innovants en bois qui se classent présentement sous l'appellation « construction combustible » au sens du Code.

Cependant, plusieurs travaux de recherche en matière de performance au feu, de performance structurale, d'isolation sonore et de durabilité, réalisés ces dernières années sur le plan national et international, ont démontré que l'utilisation d'une *construction massive en bois* permet d'atteindre au moins le même niveau de performance qu'une construction incombustible traditionnellement exigée pour des bâtiments de plus de 6 étages. Ainsi, l'équation 1, utilisée historiquement par le Code, est modifiée comme suit afin de tirer profit de la performance accrue d'une *construction massive en bois* à partir d'un nouveau facteur *PF* :

Équation 1

$$A_{max} = \frac{A_B}{N} \bullet S \bullet SF \bullet CF \bullet PF$$

Où :

A_{max} = aire de bâtiment permise pour une *construction massive en bois* ou une *construction hybride* (m²) ;

A_B = aire de référence (2250 m² pour une construction combustible du groupe C, selon le Code ;

N = nombre d'étages :
= 1, 2, 3, 4, 5 ou 6, selon le nombre d'étages et si le bâtiment est d'au plus 6 étages,
= 12 si le bâtiment est de 7 à 12 étages ;

S = facteur lié à la protection active par gicleurs automatiques (*sprinkler factor*) :
= 1,00 si le bâtiment n'est pas protégé par gicleurs automatiques,
= 2,00 si le bâtiment est protégé par gicleurs automatiques ;

SF = facteur lié au nombre de façades sur rue (*streets facing factor*) :
= 1,00 si le bâtiment donne sur 1 rue,
= 1,25 si le bâtiment donne sur 2 rues,
= 1,50 si le bâtiment donne sur 3 rues ou est protégé par gicleurs automatiques ;

CF = facteur lié au degré de résistance au feu des éléments (*construction factor*) :
= 1,00 si le degré de résistance au feu est d'au moins 45 minutes,
= 1,33 si le degré de résistance au feu est d'au moins 1 heure,
= 1,67 si le degré de résistance au feu est d'au moins 1,5 heure,
= 2,00 si le degré de résistance au feu est d'au moins 2 heures ;

PF = facteur lié au système de construction (*performance factor*) :
= 1,00 si le bâtiment est de construction combustible traditionnelle (p. ex. : ossature légère),
= 1,33 si le bâtiment est de *construction massive en bois*.

L'utilisation de l'équation 1 et des facteurs appropriés permet d'obtenir de façon rationnelle les superficies permises dans le Code pour des bâtiments du groupe C d'au plus 6 étages. Il est à noter que pour un bâtiment de plus de 6 étages, la lutte contre l'incendie se fait la plupart du temps à partir de l'intérieur du bâtiment. Ainsi, la relation proportionnelle entre l'aire et le nombre d'étages des bâtiments d'au plus 6 étages n'est plus applicable, puisque le risque induit par l'aire du bâtiment est notablement atténué. Par conséquent, une approche initiale et conservatrice est de fixer le coefficient *N* à 12 lorsque la hauteur du bâtiment est de 7 à 12 étages.

En considérant le niveau de sécurité intrinsèque d'une *construction massive en bois* par l'utilisation du facteur *PF* et en extrapolant le facteur *CF* pour une compartimentation ayant un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures, les aires de bâtiment montrées au tableau 1 sont obtenues. Il est à noter que contrairement au Code, qui permet diverses aires pour les bâtiments des groupes C et D d'au plus 6 étages, le présent guide ne fait aucune majoration de l'aire de bâtiment selon l'usage.

Tableau 1 Aire de bâtiment

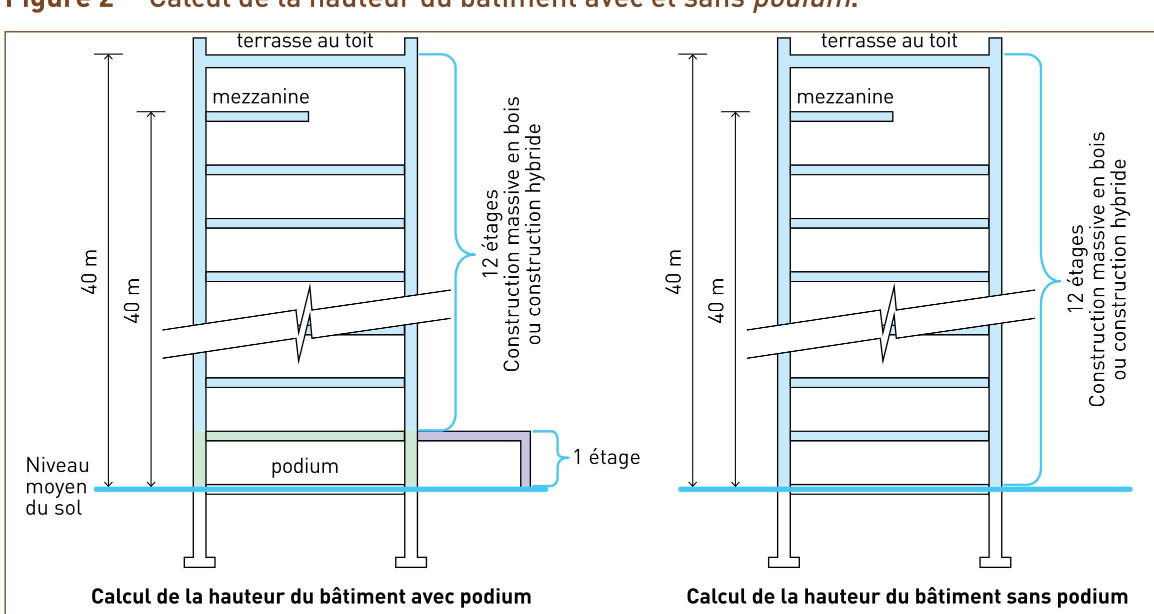
Hauteur (étages)	Type de construction	Degré de résistance au feu	Gicleurs	Rue	Aire de bâtiment
Illimitée	Incombustible	2 h	Oui	s. o.	Illimitée
7 à 12	*Massive en bois*	2 h	Oui	s. o.	*1500 m²*
6	Incombustible	1 h	Oui	s. o.	6000 m²
6	Combustible	1 h	Oui	s. o.	1500 m²
4	Combustible	1 h	Oui	s. o.	1800 m²
3	Combustible	45 min	Oui	s. o.	1800 m²
3	Combustible	45 min	Non	3	900 m²

s. o. = sans objet.

Les lignes directrices limitent en tout temps la hauteur à 12 étages lorsqu'une *construction massive en bois* ou une *construction hybride* est utilisée. Il est cependant permis d'ajouter 1 étage lorsque cette construction est érigée sur un *podium* de béton de 1 étage ; cela donne une hauteur totale de 13 étages (12 en bois + 1 en béton).

La limite de 40 m est calculée à partir du niveau moyen du sol et s'applique au dernier plancher, que celui-ci soit au niveau de l'étage, d'une mezzanine ou d'une terrasse sur le toit. Toutefois, le plancher d'une construction hors toit ne fait pas partie du calcul de la hauteur de 40 m. Au-delà de cette limite, les systèmes de construction utilisés sont plus spécialisés et demandent une attention particulière.

Figure 2 Calcul de la hauteur du bâtiment avec et sans *podium*.



Toutes les exigences visant les bâtiments de grande hauteur énoncées à la sous-section 3.2.6 du Code doivent être respectées dans le cas d'un bâtiment de *construction massive en bois* ou de *construction hybride* dont la hauteur du dernier plancher est à plus de 18 m du niveau moyen du sol, et ce, même si le bâtiment abrite un usage du groupe D. Cette exigence vise à réduire les risques de propagation de la fumée et de contamination par la fumée pour ses occupants et les intervenants du service de sécurité incendie. Il est à noter que les autres exigences du Code concernant les bâtiments de grande hauteur, dont la protection des câbles électriques, s'appliquent.

Une toiture végétalisée ne peut être construite sur le toit d'un bâtiment de *construction massive en bois* ou de *construction hybride*. Toutefois, il est permis d'en installer une sur le toit d'un *podium* de 1 étage de construction incombustible, à la condition que les critères pour la construction de toits végétalisés élaborés par la RBQ soient respectés.

Le toit doit être accessible au moyen d'un escalier. Cet escalier doit être situé à l'intérieur de l'issue et doit donner accès au toit soit par une trappe ayant une dimension d'au moins 550 mm sur 900 mm, soit par une construction hors toit.

Le niveau de performance jugé admissible selon les solutions acceptables de la division B du Code est basé sur diverses hypothèses, parfois implicites, dont la nécessité d'une alimentation en eau adéquate et la capacité d'intervention du service d'incendie dans un délai raisonnable. De plus amples détails peuvent être obtenus à l'annexe A-3 du Code.

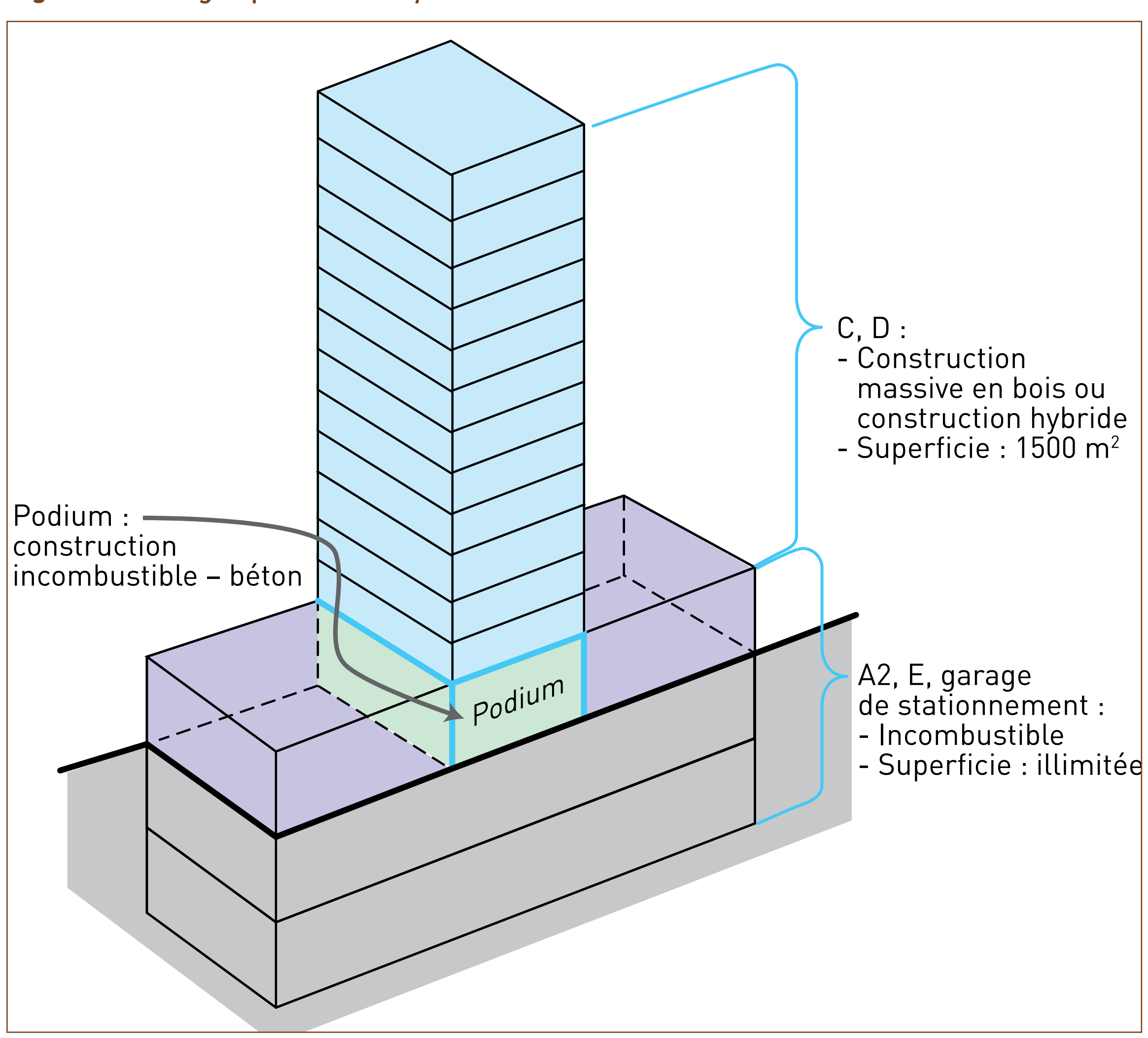
Ainsi, bien que la RBQ énonce ces lignes directrices, il est de la responsabilité de la municipalité de définir les dimensions maximales des bâtiments sur son territoire en fonction de ses moyens d'intervention. C'est pourquoi le service municipal de protection incendie ainsi que la municipalité doivent être consultés dès la planification du projet, ceux-ci pouvant appliquer des exigences additionnelles sur leur territoire. Il est également fondamental que le service municipal de protection incendie approuve la construction de ce type de bâtiment sur son territoire.

2.2. Usages mixtes

L'utilisation d'usages mixtes dans un bâtiment est une pratique courante, notamment en milieu urbain, afin de maximiser l'espace du terrain et la volumétrie du bâtiment, et pour offrir de plus amples services aux occupants. Ainsi, certains usages principaux sont permis au rez-de-chaussée seulement.

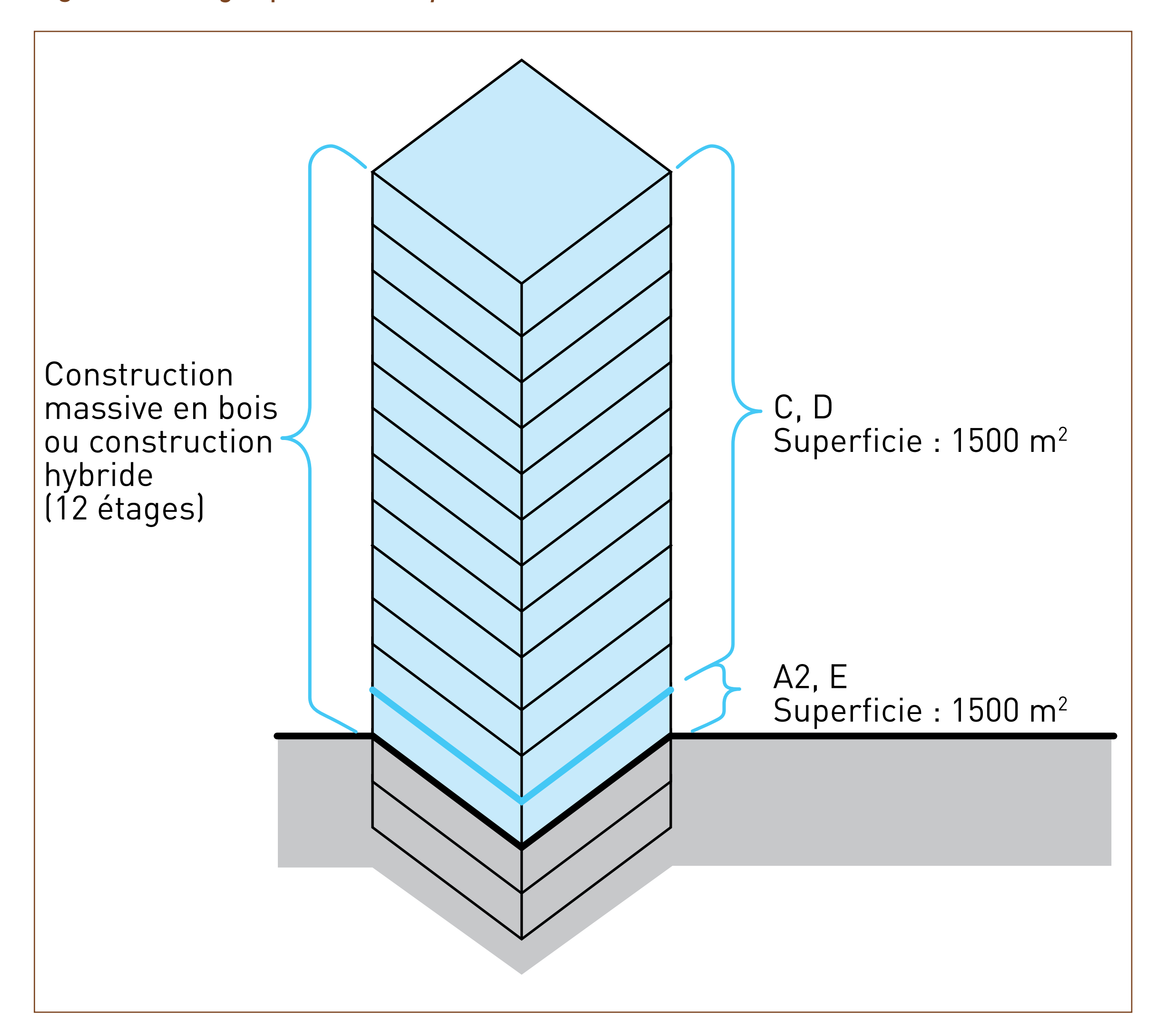
Dans le cas des usages mixtes aménagés dans un *podium* en béton, l'intérieur du *podium* doit satisfaire aux exigences d'une construction incombustible et doit fournir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures. Il n'y a aucune limite imposée quant à sa superficie au sol. L'aire de la tour des étages supérieurs doit cependant respecter les limites imposées par les lignes directrices énoncées au présent guide, soit 1500 m² pour un bâtiment du groupe C ou D.

Figure 3 Usages permis avec *podium* en béton.



Dans le cas où les usages mixtes ne sont pas aménagés dans un *podium* en béton, mais dans une *construction massive en bois* ou une *construction hybride*, les lignes directrices s'appliquent à la construction du rez-de-chaussée. Ainsi, la superficie du rez-de-chaussée doit être d'au plus 1500 m².

Figure 4 Usages permis sans *podium.*



Les aménagements comprenant plus d'une tour sur un garage de stationnement distinct conçu selon l'article 3.2.1.2 du Code ne sont pas permis.

2.3. Degré de résistance au feu

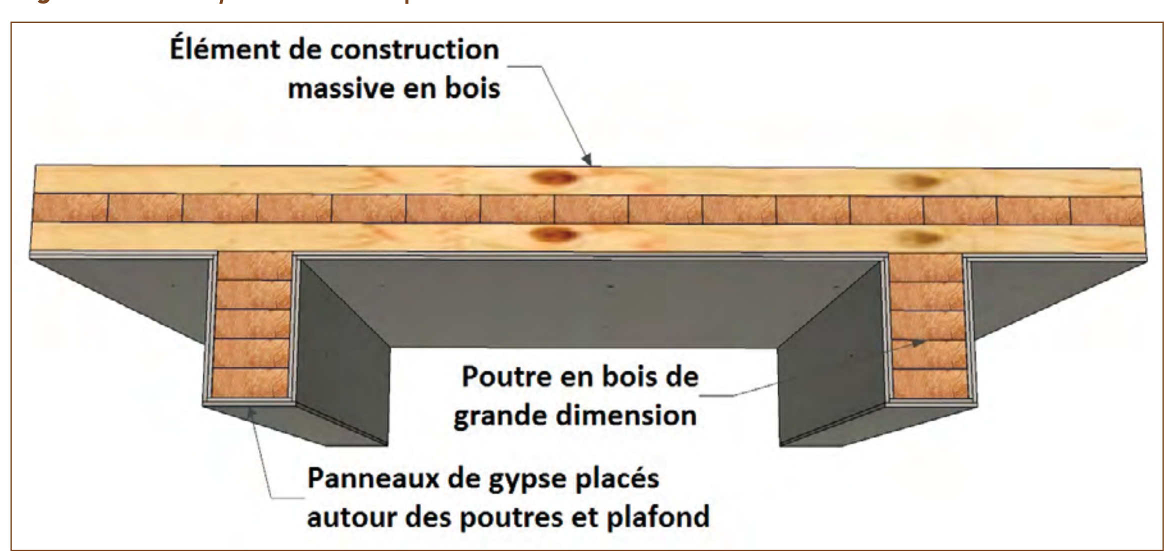
Tous les planchers et les éléments porteurs des bâtiments de *construction massive en bois* de plus de 6 étages doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures afin de répondre aux objectifs et énoncés fonctionnels [F03-OS1.2, OP1.2] et [F04-OS1.2, OS1.3, OP1.2, OP1.3]. Ces énoncés visent à limiter la probabilité que les éléments structuraux et séparatifs ne subissent une défaillance prématurée ou ne s'effondrent avant que les occupants n'aient été déplacés vers un endroit sûr et que les intervenants d'urgence n'aient accompli leurs tâches, et la probabilité que ces éléments ne causent ainsi des blessures à des personnes et des dommages au bâtiment. Les énoncés fonctionnels F03 et F04 sont directement liés aux notions de compartimentation des bâtiments. Ainsi, les notions de résistance au feu et d'intégrité des séparations coupe-feu sont fondamentales dans l'atteinte du niveau de performance défini par les objectifs.

Selon l'article 3.1.7.1 de la division B du Code, le degré de résistance au feu d'un matériau, d'un assemblage ou d'un élément structural doit être déterminé en fonction des résultats d'essais effectués selon la norme CAN/ULC S101 ou d'après l'annexe D de la division B. Pour un bâtiment conçu selon ces lignes directrices, le degré de résistance au feu d'un élément pourra également être déterminé selon les méthodes de calculs fournies à l'annexe B de la norme CSA O86-14 ou selon la version 2014 du chapitre 8 du *Manuel sur le bois lamellé-croisé*, édition canadienne.

Tous les matériaux de construction subissent des effets thermomécaniques lorsqu'ils sont exposés à un flux de chaleur (dégradation des résistances mécaniques et/ou physiques en fonction de la température). Ainsi, il existe plusieurs méthodes pour obtenir le degré de résistance au feu requis, selon le matériau utilisé, dont l'*encapsulation*. Cette méthode est une approche fondamentale dans la protection contre les incendies de tous les matériaux de construction. Elle permet de retarder les effets thermomécaniques d'un incendie sur les éléments structuraux, comme c'est le cas pour la construction incombustible traditionnelle, en plus de retarder la contribution des éléments structuraux en bois à l'incendie. À partir d'essais réalisés conformément à la norme CAN/ULC S101 ou de modélisations par éléments finis, il est facile de démontrer que l'utilisation de 2 panneaux de gypse de type X de 16 mm permet d'empêcher la température d'atteindre 300 °C à la face exposée des éléments structuraux en bois pendant au moins 1 heure, en présumant que la température d'allumage du bois est de 300 °C.

L'*encapsulation* est requise pour tous les éléments structuraux d'une *construction massive en bois*. Par ailleurs, deux méthodes sont permises, soit l'*encapsulation* complète ou l'*encapsulation* à membrane suspendue. L'*encapsulation* complète consiste à fixer 2 panneaux de gypse de type X directement sur les éléments de bois (figure 5).

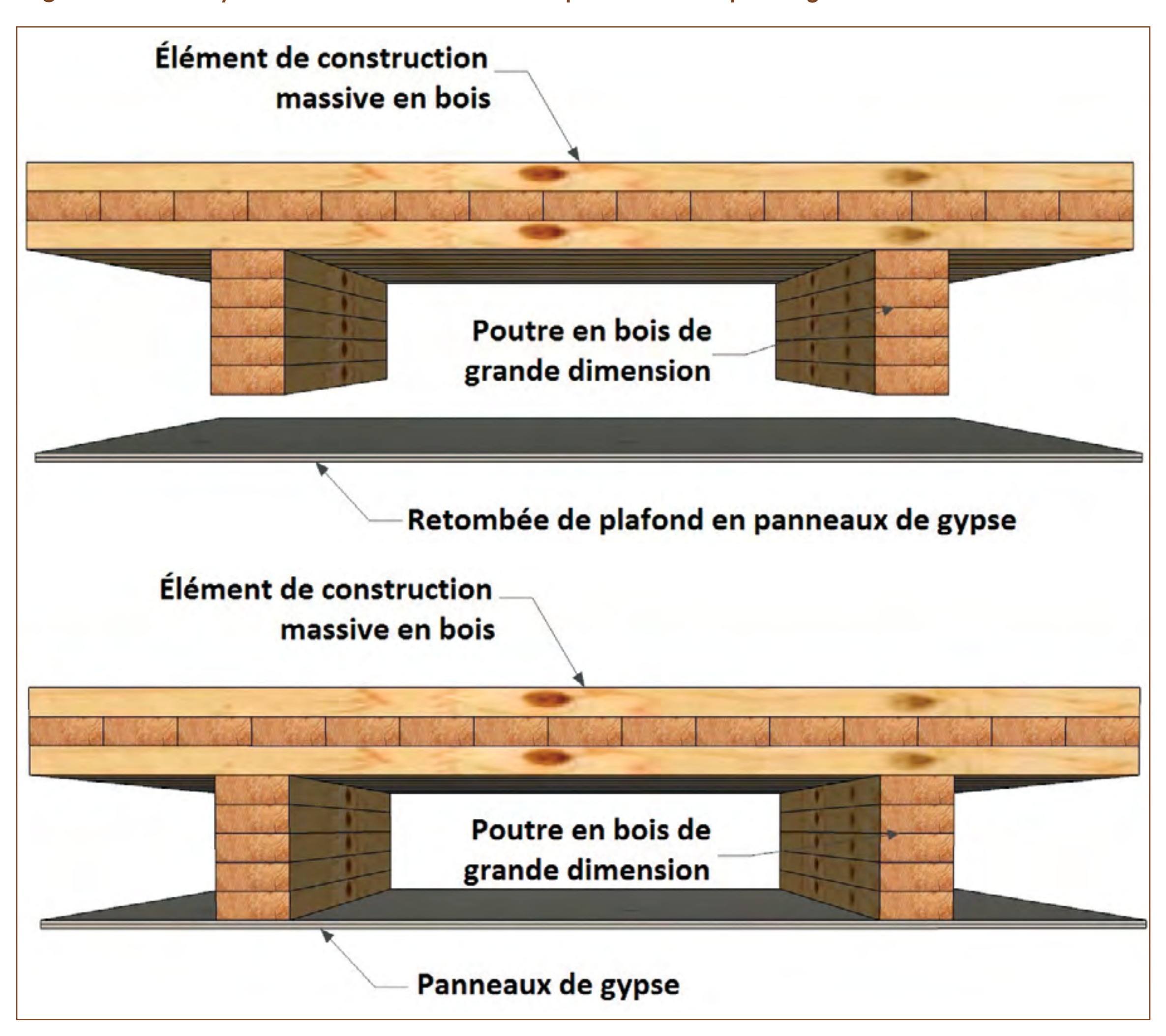
Figure 5 ***Encapsulation* complète directement fixée sur les éléments en bois.**



L'*encapsulation* suspendue est quant à elle l'utilisation de matériaux ou d'assemblages qui ne sont pas fixés directement sur les éléments de bois, mais qui permettent d'empêcher la température d'atteindre 300 °C à la face exposée des éléments structuraux en bois pendant au moins 1 heure (figure 6). On pourrait considérer ici un gypse posé sur des fourrures ou à un plafond suspendu. Cependant, il est à noter que pour cette méthode d'*encapsulation*, l'assemblage doit avoir été soumis à un essai selon la courbe de température spécifiée à la norme CAN/ULC S101. Il est également obligatoire que le vide de construction situé entre la membrane de gypse et l'élément de bois soit rempli d'isolant incombustible.

Il est obligatoire que le vide de construction situé entre la membrane de gypse et l'élément de bois soit rempli d'isolant incombustible.

Figure 6 *Encapsulation* à membrane suspendue (remplissage des vides non illustré).



Il faut également noter que les assemblages et les attaches utilisés pour résister aux charges gravitaires agissant sur la structure doivent avoir au moins le même degré de résistance au feu que les éléments qu'ils supportent. La méthode la plus simple pour augmenter la résistance au feu des attaches métalliques consiste à les dissimuler (figure 7) ou à les protéger contre une exposition au feu par l'emploi d'une épaisseur suffisante de bois (figure 8) ou de tout autre matériau de recouvrement préalablement approuvé pour le degré de résistance recherché. Les sections 5.4.4, 5.4.5 et 5.4.6 du *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur* (GBGH) fournissent de plus amples renseignements quant au calcul de la résistance au feu d'éléments structuraux et quant aux critères d'intégrité et d'isolation d'éléments séparatifs tels que les murs, planchers, toits et cloisons.

Figure 7 Assemblages et attaches métalliques entièrement dissimulés avant *encapsulation*.

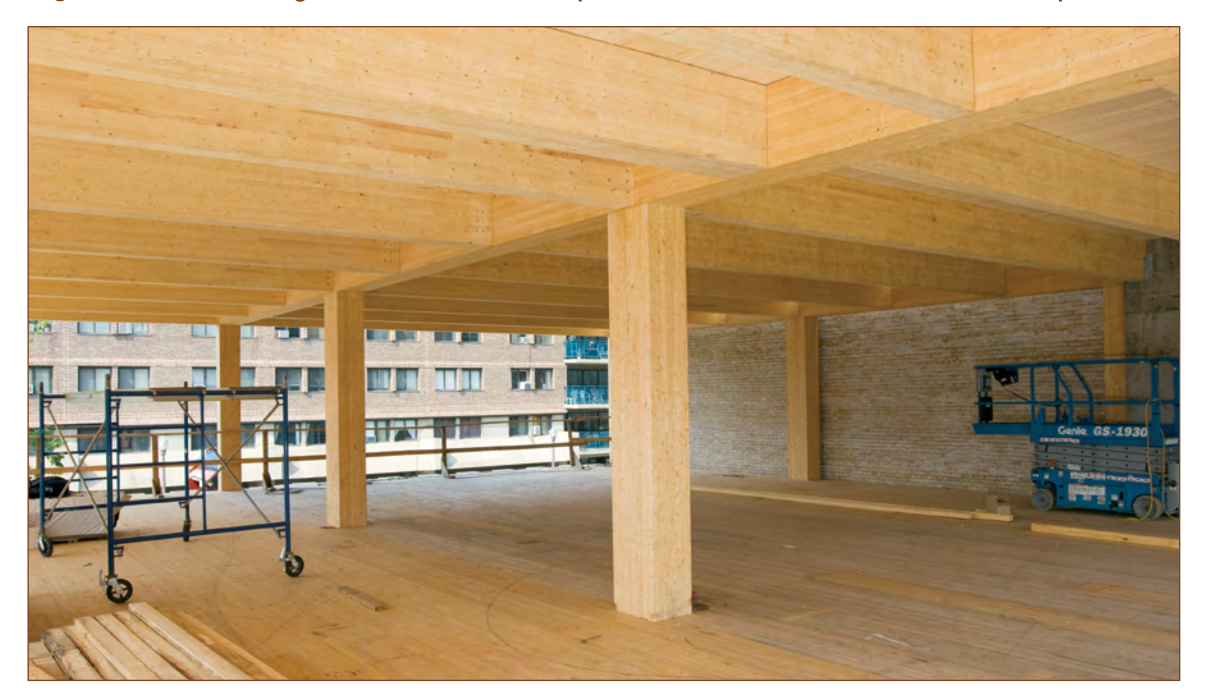
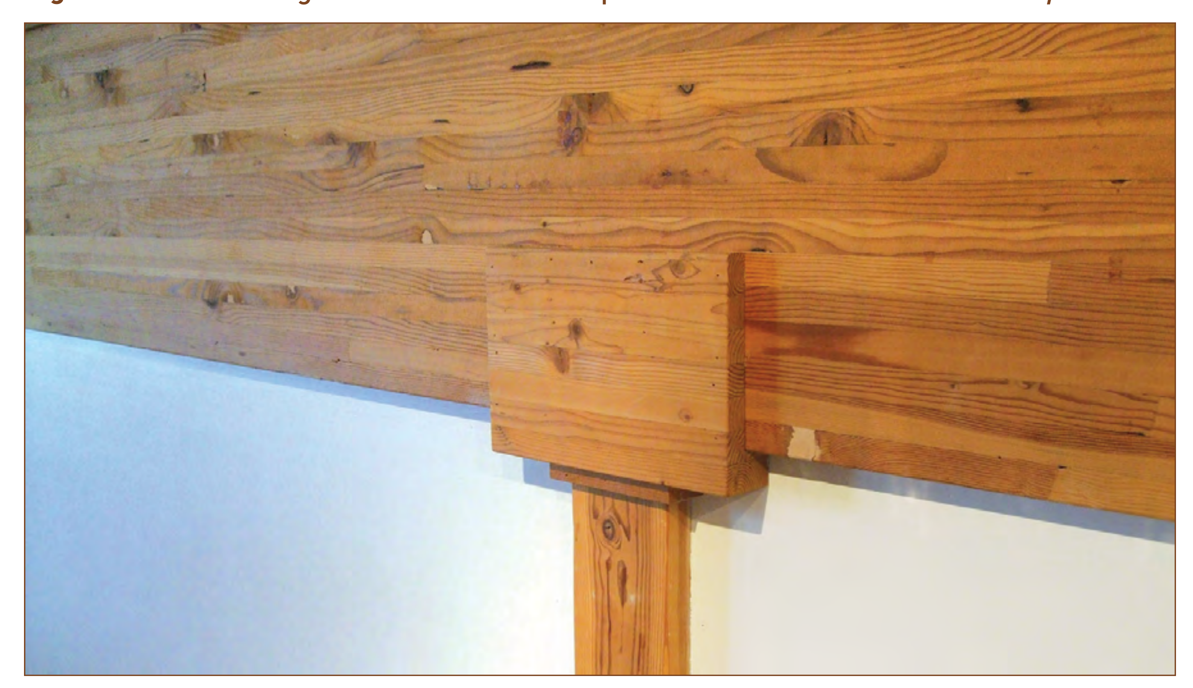


Figure 8 Assemblages et attaches métalliques recouverts de bois avant *encapsulation*.



La résistance au feu d'éléments structuraux d'une *construction massive en bois* requiert de calculer la section réduite selon le temps d'exposition au feu et la vitesse de carbonisation, puis de vérifier la résistance résiduelle de cette section réduite. Cette méthode de calcul de la section réduite est détaillée dans l'annexe B de la norme CSA O86-14 et au chapitre 8 du *Manuel sur le bois lamellé-croisé*, édition canadienne de 2014.

Si les pièces métalliques d'un assemblage se situent entièrement à l'intérieur de la section réduite d'un élément structural en bois ainsi calculée, les assemblages sont considérés comme étant adéquatement protégés, puisque le bois formant la section réduite protégera les éléments métalliques contre les effets du feu.

Le degré de résistance au feu de 2 heures requis par les lignes directrices exigera que la protection des attaches fasse l'objet d'une étude attentive et détaillée selon le type de construction retenu pour le projet.

Le degré de résistance au feu de 2 heures requis exigera que la protection des attaches fasse l'objet d'une étude attentive et détaillée selon le type de construction retenu pour le projet.

Dans une *construction massive en bois* de type plate-forme, les attaches servant à relier les éléments porteurs aident habituellement à fournir un cheminement des charges latérales (vent et séisme) et ne nécessitent ainsi aucun degré de résistance au feu, puisque la défaillance (peu probable) des attaches n'engendrera pas la défaillance structurale du système porteur gravitaire. La figure 9 illustre des situations où il ne serait pas nécessaire de protéger les attaches contre l'incendie (en présumant qu'aucune *encapsulation* n'est exigée). Cependant, dans le cas des assemblages qui résistent aux charges gravitaires, comme ceux qui sont illustrés à la figure 10, les attaches devront être protégées contre les effets d'un incendie afin de fournir le degré de résistance au feu requis. Dans une *construction massive en bois* de plus de 6 étages

conçue conformément à ces lignes directrices, les attaches seront protégées puisque les éléments structuraux doivent être encapsulés pour au moins 1 heure. Par ailleurs, les attaches d'une construction autre que de type plate-forme devront être dissimulées ou recouvertes afin de fournir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure ; ainsi, avec l'*encapsulation* d'au moins 1 heure requise, l'assemblage aura un degré de résistance au feu total d'au moins 2 heures.

Figure 9 Système en plate-forme où les assemblages ne nécessitent pas de protection contre l'incendie (*encapsulation* non illustrée).

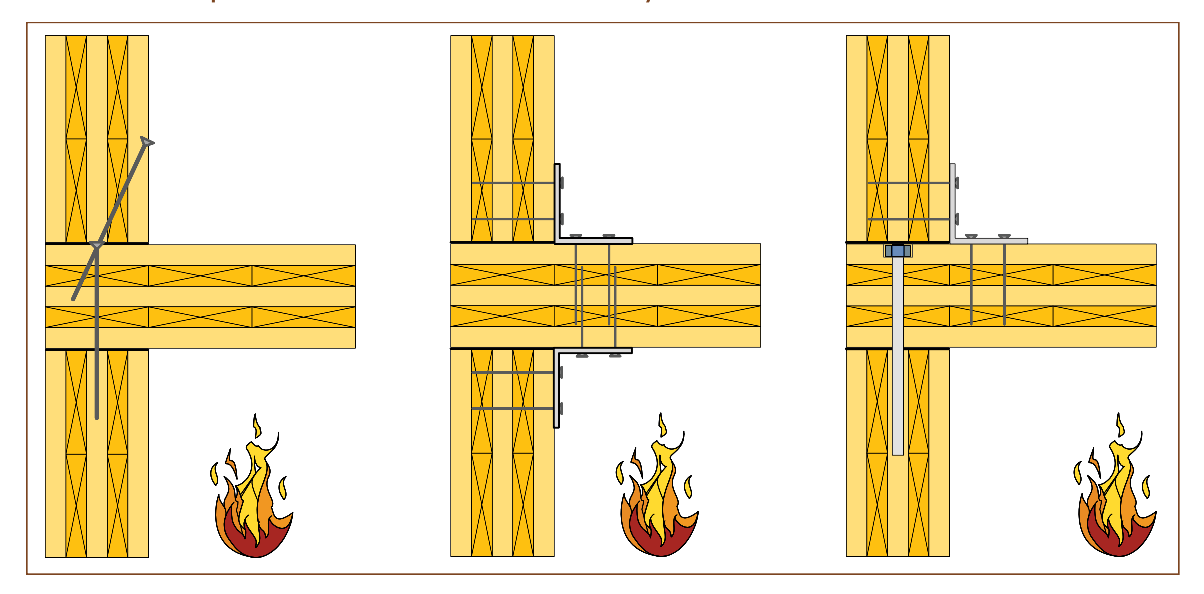
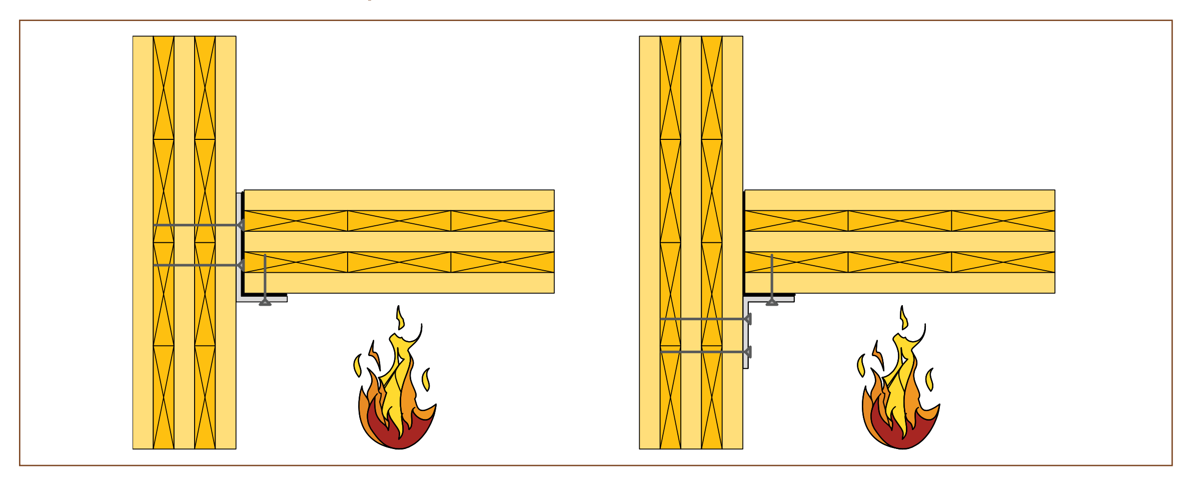


Figure 10 Système à claire-voie où les assemblages nécessitent une protection contre l'incendie (*encapsulation* non illustrée).



L'utilisation d'assemblages et d'attaches innovants est permise, à la condition que, lorsqu'ils sont exposés à la courbe de température spécifiée à la norme CAN/ULC S101, il soit possible de démontrer que ces assemblages permettent de supporter les charges appliquées pendant la durée requise. Obtenir un rapport d'évaluation du Centre canadien de matériaux de construction (CCMC) est fortement recommandé afin de documenter la performance de ces attaches, notamment pour que les valeurs de résistances structurales soient conformes à la norme CSA O86.

Un incendie peut être divisé en deux étapes fondamentales, soit 1) l'inflammation et la croissance (étape précédant l'embrasement général) et 2) le développement complet (étape suivant l'embrasement général). Après l'embrasement général, le feu est principalement contrôlé par des facteurs de ventilation (apport en oxygène limité), de sorte que la présence d'éléments en bois massif ou combustibles supplémentaires n'augmentera pas notablement la température ou l'effet sur les séparations coupe-feu. Cependant, elle peut augmenter la durée de l'incendie jusqu'à l'épuisement des flammes.

Le concept de compartimentation à partir de séparations coupe-feu (murs) est l'une des mesures de protection passive contre l'incendie servant à limiter la propagation du feu sur une aire de plancher.

Dans un bâtiment conçu selon les lignes directrices de ce guide, une séparation coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure sera requise entre le corridor commun et les suites, et entre chaque suite. Cette exigence s'applique pour les usages des groupes C et D, et ce, malgré les allégements prévus au Code pour un usage du groupe D. Comme pour les éléments structuraux en bois, les séparations coupe-feu de *construction massive en bois* devront être encapsulées par l'une des deux méthodes citées à la sous-section 1.3.10 du présent guide.

Les portes des suites doivent avoir un degré pare-flamme d'au moins 45 minutes afin de limiter la propagation de l'incendie hors de son compartiment d'origine. Il a été démontré, par des essais et des modélisations informatiques, que l'augmentation du degré pare-flamme des portes diminue considérablement la propagation de l'incendie aux corridors communs, et par conséquent aux voies d'évacuation du bâtiment. Cependant, il est essentiel que les portes demeurent en position fermée ; à cet effet, celles-ci doivent être munies d'un mécanisme de fermeture et d'enclenchement maintenu en bon état de fonctionnement pour la durée de vie du bâtiment.

2.4. Pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu

Tous les bâtiments de plus de 6 étages doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures afin de répondre aux objectifs et énoncés fonctionnels [F03-OS1.2, OP1.2] et [F04-OS1.2, OS1.3, OP1.2, OP1.3], visant à limiter la probabilité que les éléments structuraux et séparatifs ne subissent une défaillance prématurée ou ne s'effondrent avant que les occupants n'aient été déplacés vers un endroit sûr et que les intervenants d'urgence n'aient accompli leurs tâches, et la probabilité que ces éléments ne causent ainsi des blessures à des personnes et des dommages au bâtiment. Les énoncés fonctionnels F03 et F04 sont directement liés aux notions de compartimentation des bâtiments. Ainsi, comme mentionné précédemment, les notions de résistance au feu et d'intégrité des séparations coupe-feu sont fondamentales dans l'atteinte du niveau de performance défini par les objectifs.

Afin de préserver l'intégrité et la continuité d'une séparation coupe-feu, toute pénétration traversant une séparation coupe-feu ou une paroi faisant partie d'un ensemble de construction pour lequel un degré de résistance au feu est exigé doit être obturée par un coupe-feu qui, lorsqu'il est soumis à l'essai selon la norme CAN/ULC S115 (figure 11), obtient une cote F au moins égale au degré pare-flamme exigé pour les dispositifs d'obturation dans la séparation coupe-feu conformément au tableau 3.1.8.4 de la division B du Code.

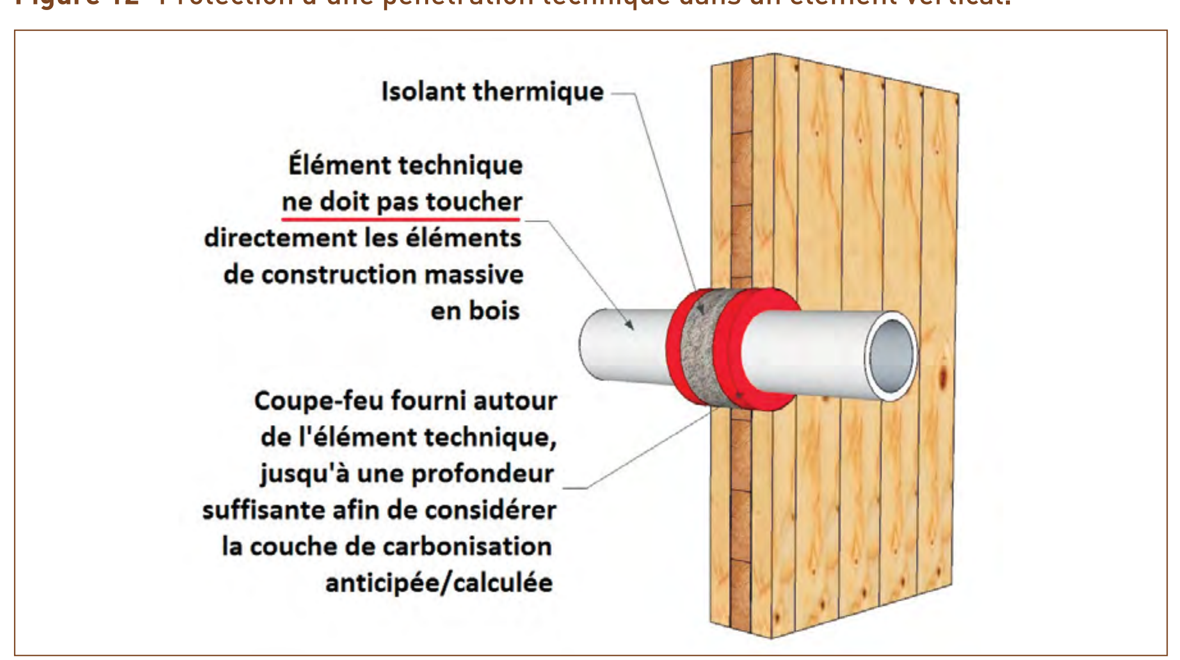
Figure 11 Dispositifs coupe-feu pénétrant du *bois lamellé-croisé* et évalués selon CAN/ULC S115. (Photo : Intertek.)



Il existe de nombreux dispositifs coupe-feu préalablement approuvés pour une utilisation dans les constructions en béton ou à ossature de bois. Il importe donc de choisir un dispositif coupe-feu homologué pour l'usage particulier désiré.

Bien que le concept de protection soit identique, il est important de porter une attention particulière aux détails d'installation des éléments traversant la séparation coupe-feu, afin d'empêcher que la chaleur induite puisse entraîner une carbonisation prématurée du bois et facilite le passage de flammes. Cet aspect est tout particulièrement important pour les éléments verticaux où il est pratique courante de laisser les éléments pénétrants s'appuyer sur l'élément structural ou non structural avant de sceller l'ouverture. La figure 12 illustre une méthode d'installation où un isolant thermique incombustible doit être installé tout autour de l'élément pénétrant afin de limiter la conduction thermique à l'élément en bois.

Figure 12 Protection d'une pénétration technique dans un élément vertical.



Certaines compositions de mur ou de cloison en panneaux de *construction massive en bois* (p. ex. : *bois lamellé-croisé*) comportent un espace d'air entre le panneau de bois et les montants métalliques pour des raisons d'isolation sonore, mais également pour permettre un meilleur ajustement des matériaux. Lorsque de tels murs sont adjacents à un plafond comportant une retombée en gypse, l'espace d'air à l'intérieur du mur ne doit pas communiquer avec le vide technique horizontal, puisque le mur doit se prolonger jusque sous la dalle de plancher.

2.5. Vides techniques verticaux et cages d'escalier

Il existe une variété de méthodes de construction pour réaliser les vides techniques verticaux et pour atteindre le niveau de performance requis. Dans certains cas, une construction de type plate-forme est utilisée, et les éléments constituant les parois du vide technique sont ainsi discontinués à tous les planchers. Lors d'une construction à « claire-voie » (bien qu'une *construction massive en bois* ne comporte pas de vides de construction), les parois du vide technique sont continues en hauteur et les planchers sont reliés sur le côté de ces parois à partir d'assemblages métalliques, de lambourdes ou de murs porteurs situés le long des parois. Dans tous les cas, l'étanchéité des jonctions entre les planchers et les murs formant la paroi du vide technique doit être assurée par l'emploi d'un matériau scellant préalablement évalué selon la norme CAN/ULC S115. De plus, il faut concevoir les éléments, y compris les assemblages, les attaches et leurs supports, de manière à ce que leur défaillance en cas d'incendie ne menace pas l'intégrité du vide technique vertical (intégrité structurale et étanchéité contre les flammes et les fumées). Le commentaire C du *Guide de l'utilisateur – CNB 2010, Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B)* fournit des renseignements utiles sur l'intégrité structurale des murs coupe-feu, dont la philosophie s'applique entièrement aux vides techniques verticaux comme les gaines d'ascenseur et les escaliers d'issue. Il est fortement recommandé que les concepteurs étudient ce commentaire afin de bien concevoir les assemblages et leurs attaches.

Il faut concevoir les éléments, y compris les assemblages, les attaches et leurs supports, de manière à ce que leur défaillance en cas d'incendie ne menace pas l'intégrité du vide technique vertical.

Les escaliers d'issue font partie des moyens d'évacuation du bâtiment et permettent aux occupants d'atteindre un endroit sécuritaire non exposé au feu provenant du bâtiment. Ces escaliers d'issue servent également de chemin d'accès pour les intervenants d'urgence. Bien que les escaliers en ciseaux puissent être plus attrayants d'un point de vue architectural, ils ne sont pas permis dans ces types de bâtiments, puisqu'ils peuvent créer des corridors en impasse et qu'ils compromettent l'étanchéité à la fumée en raison des percements possibles d'un escalier à l'autre. Advenant qu'un des escaliers en ciseaux ou l'intégrité des parois deviennent compromis, l'autre escalier deviendra fort probablement compromis lui aussi. Ainsi, l'utilisation de cages distinctes et séparées les unes des autres permet de fournir un deuxième moyen sécuritaire d'évacuation des occupants et un autre chemin d'accès aux intervenants.

2.6. Système de gicleurs

Tous les bâtiments de plus de 6 étages doivent être entièrement protégés par gicleurs, conformément à l'article 3.2.2.18 de la division B du Code. Par ailleurs, le système de gicleurs doit être conçu, construit, installé et mis à l'essai conformément à la norme NFPA 13 afin de respecter les objectifs et énoncés fonctionnels [F02, F04-OS1.2, OS1.3, OP1.2, OP1.3], et ce, pour tous les types de construction.

Conformément à la norme NFPA 13, lorsqu'une cage d'escalier d'issue est construite à partir d'une charpente en bois, au moins une tête de gicleur automatique doit être installée sous tous les paliers des escaliers d'issue, alors que seulement deux têtes au total sont requises lorsque la cage d'escalier est de construction incombustible. De ce fait, le niveau de protection active contre l'incendie est accru à l'intérieur de la cage d'escalier d'issue.

Lorsqu'une cage d'escalier d'issue est construite à partir d'une charpente en bois, au moins une tête de gicleur automatique doit être installée sous tous les paliers des escaliers d'issue.

L'ingénieur en structure doit également concevoir les attaches du système de gicleurs afin qu'elles résistent aux forces sismiques, conformément à l'article 4.1.8.18 de la division B du Code et à la sous-section 9.3 de la norme NFPA 13. Des détails d'installation supplémentaires doivent ainsi être élaborés pour soutenir adéquatement la tuyauterie dans les sens gravitaire et latéral. De plus amples renseignements sur le calcul des effets attribuables aux séismes et sur les exigences de l'article 4.1.8.18 peuvent être obtenus dans le *Guide de l'utilisateur – CNB 2010, Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B).*

2.7. Séparation des milieux différents

Les façades extérieures dans ce type de bâtiment doivent être recouvertes d'un revêtement de matériaux incombustibles afin de limiter la propagation extérieure d'un incendie. Le concepteur désirant un revêtement de bois, en totalité ou en partie, devra s'assurer que le mur et la totalité de sa composition ont été soumis à l'essai conformément à la norme CAN/ULC S134. Les lignes directrices énoncées au présent guide n'autorisent pas les systèmes comme les murs rideaux, compte tenu de la diversité de leur conception. Chaque projet de construction de bâtiment en bois de grande hauteur où l'utilisation d'un tel système est envisagée devra préalablement faire l'objet d'analyses, de concert avec la RBQ.

Compte tenu de leur diversité de conception, les murs rideaux sont interdits. Chaque projet où l'utilisation d'un tel système est envisagée devra faire l'objet d'analyses, de concert avec la RBQ.

Les balcons doivent également être construits à partir de matériaux incombustibles (balcons préfabriqués et suspendus à la charpente massive en bois, par exemple). S'ils sont de *construction massive en bois*, ils doivent être recouverts de matériaux incombustibles. Il n'est cependant pas permis de concevoir des balcons en porte-à-faux. Par l'élimination de cette possibilité, le risque d'infiltration de pluie et de neige se trouve limité. De plus amples renseignements peuvent être obtenus à la section 5.9 du *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiment en bois de grande hauteur* (GBGH).

Les balcons doivent être construits à partir de matériaux incombustibles. S'ils sont de *construction massive en bois*, ils doivent être recouverts de matériaux incombustibles. Les balcons en porte-à-faux sont interdits.

Sur le plan de la longévité, une bonne composition de l'enveloppe et de ses composants fournira les outils nécessaires à une durabilité à long terme du bâtiment. À cet effet, un bâtiment doit être conçu de façon à contrôler la condensation potentielle et à gérer adéquatement les transferts de chaleur, d'air, d'humidité et de son à travers les milieux intérieurs et extérieurs, et ce, peu importe le type de construction envisagé.

La partie 5 du Code énumère les exigences et les objectifs relatifs à l'atteinte d'une bonne composition de l'enveloppe et de ses composants lorsqu'ils sont exposés au milieu extérieur ou au sol, ou encore lorsqu'ils séparent deux milieux intérieurs différents. Ces exigences touchent tous les bâtiments à l'exception de ceux qui sont visés par la partie 9 du Code ou par le Code national de construction des bâtiments agricoles. La partie 5 du Code porte sur le contrôle de la condensation, le transfert de chaleur, l'étanchéité à l'air, la diffusion de vapeur, les précipitations, les eaux de surface, l'humidité du sol et la transmission du son.

Le chapitre 6 du GBGH fournit de plus amples renseignements sur la conception de l'enveloppe du bâtiment. On y résume les considérations conceptuelles clés de l'enveloppe du bâtiment, en particulier les principaux aspects de la conception où on note des différences relativement aux constructions en bois de grande hauteur dans les différentes zones climatiques du Canada. Le chapitre est présenté de façon à informer le lecteur sur les différentes charges de l'enveloppe d'un bâtiment et sur les exigences relatives aux codes de l'énergie et du bâtiment ; il résume ensuite les principes fondamentaux de la conception et de l'assemblage des enveloppes de bâtiment, et les principes relatifs aux stratégies de finition, pour finalement aborder les questions de protection et de durabilité du bois, y compris la gestion de l'humidité sur le chantier et l'utilisation du bois dans des applications extérieures. Pour sa part, la section 4.4 du chapitre 4 du GBGH parle du contrôle de l'isolation sonore dans les bâtiments.

Un certain nombre de publications abordant les directives pour la conception d'enveloppes de bâtiment, telles que des manuels et d'autres ouvrages de référence traitant de la science du bâtiment, sont offerts au Canada et fournissent des directives générales sur la conception et la construction d'enveloppes de bâtiment à base de bois offrant durabilité et efficacité énergétique. On compte parmi ces publications : *Guide for Designing Energy-Efficient Building Enclosures* (2013), *Building Enclosure Design Guide* (2011), *Manuel sur le bois lamellé-croisé* (2011), *High Performance Enclosures* (2013), *Building Science for Building Enclosures* (2005) et *Builder's Guide for North American Climates* (différentes versions). Les principes fondamentaux de conception

des enveloppes de bâtiment décrits dans ces publications peuvent être appliqués aux bâtiments en bois de grande hauteur. Mais, comme la plupart des recommandations pour la conception de bâtiments en bois sont uniquement applicables aux bâtiments de 6 étages et moins, la prudence est de mise lorsque l'on envisage de concevoir des bâtiments de grande hauteur. De nombreux assemblages, détails ou matériaux qui sont appropriés pour une utilisation dans les bâtiments de faible hauteur à ossature de bois pourraient ne pas convenir aux bâtiments de plus grande hauteur, en raison des charges environnementales accrues et de l'augmentation des attentes concernant la durabilité.

Considérations climatiques et charges environnementales

La conception des milieux différents doit tenir compte des charges climatiques dictées par les régions géographiques où seront érigés les bâtiments (division B du Code). Effectivement, les conditions auxquelles sont soumis les systèmes constructifs dictent la façon de faire et les bonnes pratiques liées à la conception de l'enveloppe et de ses composants. Les calculs relatifs aux transferts de chaleur, d'air, d'humidité et de son doivent être conformes aux règles de l'art. Le Code se réfère notamment au manuel de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (édition 2009), qui couvre les principes fondamentaux liés aux différents transferts de masse.

Dans le cas de bâtiments de grande hauteur, il y a lieu de prévoir l'effet de l'augmentation des charges dues au vent et à la pluie sur la structure et les fixations de parement, et divers autres problèmes dont on tient compte au stade de la conception. Plusieurs éléments de l'enveloppe de bâtiment peuvent être soumis à des charges accrues dues au vent et à la pluie. Les concepteurs doivent en tenir compte. La considération fondamentale pour l'enveloppe d'un bâtiment en bois de grande hauteur, comparativement à un bâtiment en bois de plus petite hauteur, est de s'assurer que les charges plus importantes, en particulier le vent, la pluie et les écarts de pression atmosphérique, seront traitées efficacement lors du processus de conception.

Au stade de la conception, il y a lieu de prévoir l'effet de l'augmentation des charges dues au vent et à la pluie. Plusieurs éléments de l'enveloppe (structure, fixations, parements, etc.) peuvent être soumis à ces charges accrues.

L'augmentation des charges dues au vent peut également entraîner le soulèvement de la bordure des toits de bâtiments. En conséquence, certaines applications pour toitures couramment utilisées dans la construction de bâtiments moins élevés ne sont peut-être pas appropriées pour les bâtiments de grande hauteur. Il faut donc s'assurer d'utiliser les bons matériaux et de suivre les recommandations des fabricants.

Transferts de chaleur

Les transferts de chaleur nous renvoient aux exigences de résistance thermique des composants ou assemblages de construction. Dans ce cas particulier, il est important de connaître les exigences présentées dans les codes de l'énergie en vigueur.

Il est certainement intéressant de mentionner que la plupart des codes et des programmes relatifs à l'énergie subissent présentement des révisions importantes, ce qui aura un effet sur les systèmes constructifs et leur conception. Il sera encore plus important de surveiller les validations des concepts et des compositions

d’enveloppe puisque l’augmentation de la résistance thermique pourrait engendrer des problématiques liées à une gestion déficiente des infiltrations d’eau et à un potentiel de condensation plus important. Dans un climat froid, comme au Québec, le transfert de chaleur se fait plus longtemps de l’intérieur vers l’extérieur qu’en sens inverse. Dans ces conditions, il est important de prévoir de bons systèmes de protection intérieurs et extérieurs (pare-vapeur et pare-air/pare-pluie).

Étanchéité à l’air

Le contrôle de l’étanchéité à l’air est un élément important du bon fonctionnement d’un système constructif car, en plus d’offrir des conditions ambiantes acceptables aux occupants, il permet de contrer les problèmes éventuels de condensation dus aux mouvements d’air dans les parois et cavités.

Le système d’étanchéité à l’air constitue la principale résistance aux fuites d’air. Les matériaux constituant ce système doivent avoir un taux de perméabilité à l’air conforme à la partie 5 du Code, section 5.4.1. De plus amples renseignements sur le contrôle de l’étanchéité à l’air sont fournis à la sous-section 6.4.4 du GBGH.

Diffusion de vapeur

En termes de diffusion de vapeur, les principes demeurent les mêmes. Lorsqu’il y a présence d’un gradient de pression de vapeur ou de température, le système doit être constitué de matériaux ou de composants en mesure de contrôler la diffusion de vapeur. Dans la partie 5 du Code, il est exigé que le pare-vapeur ait une perméance suffisamment faible pour réduire au minimum le transfert d’humidité par diffusion. De plus amples renseignements sur le contrôle de la condensation de la vapeur d’eau sont fournis à la sous-section 6.4.3 du GBGH.

Précipitations

La pluie constitue généralement la principale source d’humidité pour les enveloppes de bâtiment. Par conséquent, le contrôle de la pénétration de l’eau de pluie est essentiel. Les aspects abordés par la section qui concerne les précipitations dans la partie 5 du Code assurent qu’une bonne protection contre les infiltrations d’eau de pluie est respectée. Selon le type de bâtiment, le système pare-pluie peut varier. Dans le cas des bâtiments en bois, on considère le parement extérieur comme étant la première couche de défense contre les intempéries, tandis que le système pare-pluie (installé derrière le parement) agit comme deuxième ligne de défense. Cette façon de faire respecte les objectifs du Code qui visent d’une part à réduire au minimum l’infiltration des précipitations, et d’autre part à empêcher leur migration vers l’intérieur du bâtiment. Pour les matériaux appliqués sur des surfaces horizontales ou inclinées comme les toits, le Code fournit certaines spécifications quant aux normes à respecter. Évidemment, tous les matériaux, composants et ensembles, ainsi que leurs joints et jonctions, doivent être étanchéisés ou permettre l’évacuation de l’eau.

En règle générale, l’augmentation de la hauteur des bâtiments augmente leur exposition aux conditions météorologiques (c.-à-d. aux charges dues au vent et à la pluie). L’équipe de conception doit tenir compte de cette augmentation du coefficient de charge et d’autres facteurs pour calculer les charges éventuelles dues au vent et à l’effet de la pluie sur l’enveloppe.

Également, l'eau de pluie qui frappe les murs et les fenêtres sous l'effet du vent s'accumule au fur et à mesure de son écoulement le long des murs vers le sol. Certains dispositifs comme les solins de larmier permettent à l'eau de s'écouler sans contact avec le bâtiment. Ceci réduit les répercussions du mouillage des éléments et des matériaux sous les solins. Il est toutefois probable que, pour les bâtiments de grande hauteur en bois, l'accumulation d'eau sur la surface des niveaux inférieurs et des fenêtres soit supérieure à l'accumulation d'eau sur les surfaces de bâtiments de moins grande envergure. En conséquence, il faut tenir compte de l'accumulation d'eau lors de la conception d'éléments et de dispositifs d'évacuation d'eau à la surface de l'enveloppe d'un bâtiment.

Le Code mentionne aussi que l'emplacement et l'aménagement du terrain sur lequel sera érigé un bâtiment doivent prévoir des systèmes de récupération de l'eau (pente, bassins collecteurs, etc.), de façon à empêcher les accumulations d'eaux de surface près du bâtiment.

Retrait du bois et incidence sur l'enveloppe

Le retrait du bois entrant dans la construction d'immeubles de grande hauteur est un phénomène de première importance. Il est attribuable aux changements des dimensions des pièces de bois en réponse à la variation de leur teneur en humidité (TH). Dans les bâtiments en bois de grande hauteur, il faut apporter une attention particulière au retrait du bois, en raison de l'effet cumulatif de la variation des dimensions d'éléments en bois.

Il faut apporter une attention particulière au retrait du bois, en raison de l'effet cumulatif de la variation des dimensions d'éléments en bois.

Avec le temps, la TH atteint un équilibre avec l'humidité relative de l'air entourant le bois. La TH du bois d'ingénierie qui est utilisé dans la *construction massive en bois* s'inscrit dans une plage de 12 à 16 %, soit un taux bien inférieur au point de saturation de la fibre (environ 30 %), mais supérieur au degré d'humidité d'équilibre que l'on trouve à l'intérieur des bâtiments (environ de 5 à 15 %).

Par conséquent, il faut prévoir une période de retrait initial des éléments en bois des bâtiments à *construction massive en bois*, puis une variation de leurs dimensions durant l'année compte tenu de la variation de l'humidité relative à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment. L'humidité relative moyenne de l'air intérieur est habituellement plus élevée durant l'été que durant l'hiver, en raison du chauffage en période froide. La TH du bois peut alors varier de 15 à 5 % (et peut varier davantage dans les murs extérieurs). Ainsi, le bois présent dans les éléments d'un bâtiment se dilate durant l'été et se rétracte durant l'hiver. Il est donc primordial de prévoir le mouvement potentiel dû au retrait dans l'ensemble des composants structuraux et non structuraux susceptibles d'être affectés.

Contrôle du bruit et transmission du son

L'enveloppe du bâtiment contrôle la transmission de la pollution sonore extérieure indésirable dans les espaces intérieurs. Les bruits urbains causés par la circulation automobile, les trains, les avions, les usines et les voisins, entre autres, sont indésirables à l'intérieur et ils nuisent à la concentration et à de nombreuses activités comme la conversation et le sommeil. Les composants de l'enveloppe du bâtiment, avec leurs propriétés en termes de masse d'insonorisation sonore, de propriétés

d'amortissement et d'étanchéité à l'air, ont une incidence sur la transmission du bruit provenant de l'extérieur. Le choix d'assemblages appropriés de fenêtres, de murs et de toitures ainsi que certains détails d'interface de l'enveloppe du bâtiment doivent être pris en compte dans la conception de l'isolation sonore. Toutefois, il n'existe actuellement aucune exigence de contrôle du bruit pour l'enveloppe extérieure du bâtiment dans les codes canadiens du bâtiment. Les seules exigences incluses dans ces codes couvrent le contrôle du bruit à l'intérieur des bâtiments, plus particulièrement entre les unités ou les espaces couverts. Comme cela est stipulé à la section 5.9 de la division B du Code, chaque logement doit être isolé, par une construction ayant un indice de transmission du son d'au moins 50, de toute autre partie du bâtiment où du bruit peut se produire. Par ailleurs, la construction séparant un logement d'une gaine d'ascenseur ou d'un vide-ordures doit avoir un indice de transmission du son d'au moins 55.

Un aspect important à considérer dans les constructions en bois est la transmission indirecte du son. Bien que la transmission directe du son au travers des parois (murs et planchers) semble obtenir de bons résultats en service, le phénomène de transmission indirecte peut influer grandement sur le rendement « apparent » de l'indice de transmission du son (*apparent sound transmission class*, ASTC). Les concepteurs doivent ainsi porter une attention particulière à la transmission indirecte aux jonctions des murs et des planchers. De plus amples renseignements sur le contrôle de l'isolation sonore des bâtiments sont fournis à la section 4.4 du GBGH.

L'enveloppe du bâtiment permet également de contrôler la propagation du feu et de la fumée en cas d'incendie. Cette enveloppe doit rester intacte pendant un certain temps, pour empêcher le passage des flammes à l'extérieur ou à l'intérieur du bâtiment : cela permettra principalement aux occupants d'évacuer les lieux en toute sécurité et à la structure de ne pas s'effondrer. En général, les composants de l'enveloppe du bâtiment doivent être protégés contre l'incendie, et le parement ou le système de parement doit être conçu de telle sorte qu'il ne contribue pas à la propagation de la flamme lorsque cette dernière entre en contact avec la partie extérieure du bâtiment. Cela implique généralement l'utilisation de parements incombustibles, de supports de parement et d'isolation en laine minérale incombustible, comme pour les autres bâtiments de grande hauteur de construction incombustible.

2.8. Propagation de la fumée

La propagation de la fumée est un élément très préoccupant pour les bâtiments de grande hauteur. Les statistiques démontrent que la plupart des décès lors d'un incendie dans un bâtiment de grande hauteur ont lieu dans les moyens d'évacuation (escaliers, corridors) et ont pour cause la propagation de la fumée provenant d'ailleurs dans le bâtiment. Non seulement faut-il limiter le mouvement ascendant de la fumée dans les gaines d'ascenseur et les gaines verticales, et sa propagation aux étages supérieurs, mais aussi la migration de la fumée dans les escaliers d'issue ; cette migration pourrait retarder le déplacement des occupants vers un endroit sûr, et retarder ou rendre inefficaces les opérations de lutte contre l'incendie.

Dans les bâtiments de grande hauteur, le Code prévoit déjà certaines mesures pour limiter la propagation de la fumée dans les escaliers, notamment par une mise à l'air libre à la base de la cage d'escalier. Dans une *construction massive en bois* ou une *construction hybride* conçue selon les lignes directrices du présent guide, une pressurisation mécanique des escaliers d'issue est exigée afin d'obtenir une pression positive d'une différence de pression minimale de 12 Pa. Évidemment, il faudra s'assurer que la pression maximale créée dans l'escalier n'empêche pas l'ouverture des portes. C'est pourquoi chaque cas est particulier et doit faire l'objet de calculs. La méthode utilisée pour atteindre le niveau de performance de 12 Pa est de la responsabilité du concepteur. La méthode J décrite à l'annexe de l'édition 1990 du Code national du bâtiment est un bon exemple de ce qui a été utilisé par le passé. La norme NFPA 92A, « Recommended Pratice for Smoke-Control Systems », peut également être utilisée tel que décrit dans l'annexe B de la division B du Code.

Une pressurisation mécanique des escaliers d'issue est exigée afin d'obtenir une pression positive d'une différence de pression minimale de 12 Pa.

2.9. Règles de calcul, structure et attaches

L'élaboration des plans et devis de la structure est une partie importante d'un projet de *construction massive en bois* ou de *construction hybride* de plus de 6 étages. Il faut porter une attention particulière à l'analyse et au dimensionnement de la charpente lors de la réalisation des plans et devis de la structure de ce type de bâtiment. Jusqu'à tout récemment, le Code n'autorisait pas la construction de bâtiments en bois de plus de 4 étages. Il importe donc de rappeler certaines particularités de la construction en bois.

Dans une *construction massive en bois* ou une *construction hybride* de plus de 6 étages, il faut porter une attention particulière à l'analyse et au dimensionnement de la charpente lors de la réalisation des plans et devis de la structure.

Code et normes (généralités)

L'objet de la partie 4 du Code est décrit à la sous-section 1.3.3 de la division A du Code. Les bâtiments visés par le présent guide possèdent une hauteur supérieure à 3 étages et une aire supérieure à 600 m^2. Ainsi, les règles de calcul établies dans la partie 4 de la division B du Code doivent être appliquées.

Conformément à l'article 4.3.1 de la division B du Code, le calcul des charpentes en bois et de leurs connexions (attaches) doit être conforme à la dernière édition de la norme CSA O86. Ainsi, la norme CSA O86-14, « Règles de calcul des charpentes en bois », doit être la référence lors de la conception d'éléments et de systèmes de construction pour les bâtiments en bois visés par ce guide. Cette norme inclut de nouvelles dispositions importantes qui se trouveront dans la prochaine édition du Code national du bâtiment du Canada (CNB 2015).

Les bâtiments en bois de grande hauteur ainsi que les attaches peuvent être conçus conformément à l'article 4.3.2 de la norme CSA O86-14. En effet, l'article 4.3.2, « Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction », stipule qu'« *on peut faire appel à des méthodes nouvelles ou spéciales de conception ou de construction des charpentes en bois ou des éléments de charpentes non visés par cette norme si ces concepts sont fondés sur des principes d'analyse et d'ingénierie, ou sur des données fiables, ou les deux, qui assurent la sécurité et la tenue en service prévues des charpentes ainsi conçues* ».

Tout comme les normes de calcul structural des autres matériaux, la norme CSA O86-14 vise à garantir de manière acceptable qu'une charpente en bois conçue selon les exigences prescrites dans cette norme pourra convenir de façon sécuritaire à l'usage prévu. La charpente convient à l'usage prévu si la charpente, ses composants et ses assemblages sont conçus de manière à satisfaire aux exigences de calculs stipulées à l'article 4.3, Exigences de calculs, ainsi qu'aux articles 5.1.2 et 5.1.3, respectivement États limites ultimes et États limites d'utilisation, de la norme CSA O86-14.

De plus, contrairement à la partie 3 de la division B du Code, où les exigences techniques et niveaux de performance sont en grande majorité de natures prescriptive et qualitative, les exigences techniques et niveaux de performance de la partie 4 de la division B du Code sont essentiellement axés sur la performance et sur la fiabilité (ce qui est une approche préconisée par le calcul aux états limites). Ainsi, les concepteurs possèdent une plus grande latitude quant à l'atteinte des objectifs du Code.

Connexions (attaches)

Le chapitre 12 de la norme CSA O86-14 précise les critères de conception liés aux attaches communément utilisées dans la construction en bois. Toutefois, de nouveaux systèmes d'attaches sont couramment employés dans la *construction massive en bois*. Ces systèmes d'attaches doivent être évalués conformément à l'article 3.3.2 de la norme CSA O86-14, « Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction ». Les systèmes non conventionnels d'attaches sont évalués à partir de la base de données d'essai produite par le manufacturier, des interprétations de preuve étant ensuite réalisées par les organismes d'évaluation des produits tels que le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC). Cet organisme publie des rapports énonçant les valeurs de conception qu'il recommande pour le système mis à l'essai. Les rapports d'évaluation du CCMC publient des valeurs de conception conformes aux principes de la norme CSA O86. L'ingénieur de projet peut autoriser un système d'attaches innovant, avec ou sans évaluation par un tiers indépendant, s'il est convaincu qu'une diligence d'ingénierie raisonnable a été déployée (en suivant l'article 3.3.2 de CSA O86). Si, toutefois, la confirmation d'un organisme d'évaluation tiers est requise, le rapport d'évaluation du CCMC doit être fourni. Finalement, la procédure de calcul des valeurs de conception pour les attaches et les assemblages innovants selon les données d'essai est détaillée à la sous-section 4.2.3.6 du GBGH et doit être compatible avec la norme CSA O86-14.

Le comportement des structures du type *construction massive en bois* soumises à des charges sismiques et de vent est en grande partie contrôlé par les connexions, qui doivent être ductiles et maintenir l'intégrité en cas de surcharge. Les connexions devraient être conçues non seulement pour résister aux charges de conception, mais également pour absorber l'énergie et maintenir l'intégrité structurale du système en cas de surcharge (voir la section 4.2 du GBGH).

La teneur en humidité et la durée d'application de la charge sont des facteurs importants lors de la conception des connexions ; il faut éviter les modes de rupture fragile, en particulier dans les zones à risque

Le comportement des structures du type *construction massive en bois* soumises à des charges sismiques et de vent est en grande partie contrôlé par les connexions, qui doivent être ductiles et maintenir l'intégrité en cas de surcharge. La teneur en humidité et la durée d'application de la charge sont des facteurs importants lors de leur conception.

sismique élevé. L'utilisation de connexions dont la force est contrôlée par la rupture du bois (rupture fragile, en particulier) devrait être évitée, et la ductilité devrait être ciblée, si possible, en particulier dans les zones à risque sismique élevé. Lors de la conception de connexions ou d'assemblages, il est également important de tenir compte de l'humidité et des autres facteurs de service ayant une influence sur la résistance du bois (ou d'autres matériaux). Des conseils sont fournis dans la norme CSA O86 et à la section 4.2 du GBGH.

Il est essentiel que toute connexion fournisse la rigidité uniquement contre le flux des forces, comme il est présumé dans la conception du système ou de la structure secondaire à laquelle il appartient, afin d'éviter les forces d'attraction non intentionnelles qui peuvent dépasser la capacité de l'assemblage. Lorsque la rigidité est nécessaire – par exemple contre les charges de vent ou les charges sismiques –, elle doit être contrôlée contre les effets des flux de forces axiales, de cisaillement et de moment, flux qui ont été pris en charge dans la conception.

Dans les structures en bois, l'énergie produite par le vent ou l'activité sismique est dissipée par plusieurs mécanismes tels que la friction interne, la friction entre les éléments structuraux et la déformation plastique. Lors d'événements sismiques extrêmes, une grande partie de cette dissipation d'énergie est obtenue par la déformation non linéaire des connexions mécaniques en raison de l'élasticité des connecteurs métalliques et de l'appui des éléments de bois. Lorsque le bois est utilisé dans les structures longues, hautes et légères, la réponse dynamique à la charge du vent et aux vibrations causées par l'homme peut être importante, et les joints peuvent contribuer de manière importante, en termes d'amortissement et de rigidité, à la façon dont la structure se comporte dans son ensemble. Pour plus de détails, consulter la section 4.2 du GBGH.

Agencement des systèmes porteurs

L'agencement des éléments du système structural et leurs interactions doivent assurer la résistance à l'effondrement généralisé du système en cas de rupture localisée. Pour obtenir une intégrité structurale adéquate, les connexions entre les composants structuraux doivent être ductiles et avoir une capacité relativement importante d'absorption des déformations et de l'énergie dans des conditions de charge anormales. Des détails appropriés pour résister à des charges de vent allant de faibles à modérées, et particulièrement à des charges sismiques, procurent généralement une ductilité suffisante.

L'agencement des éléments du système structural et leurs interactions doivent assurer la résistance à l'effondrement généralisé du système en cas de rupture localisée.

Il existe plusieurs façons de concevoir la charpente afin d'assurer l'intégrité nécessaire pour soutenir des charges près des murs, des fermes, des poutres, des colonnes et des planchers gravement endommagés. Quelques exemples de concepts et de détails sont énumérés dans le GBGH, section 4.3.

L'approche globale pour la conception de bâtiments en bois de grande hauteur prévoit l'absorption des charges par les colonnes et les murs pour les charges de gravité comme les charges permanentes (y compris les charges superposées), les charges vives et les charges de neige.

Il existe un certain nombre de programmes d'analyse structurale linéaire élastique qui peuvent être utilisés dans la modélisation du système, incluant les panneaux muraux et les planchers, pour obtenir des charges de conception pour le système de gravité (des calculs manuels peuvent être utilisés pour vérifier ces charges de conception). Une analyse des étapes de construction devrait également être effectuée pour s'assurer que la conception suit le séquencement de construction. La conception des éléments du système de gravité doit être conforme aux exigences de la norme CSA O86-14. Voir également la section 4.3 du GBGH.

Il est d'une importance primordiale de s'assurer que le système porteur de charges de gravité dans les bâtiments en bois de grande hauteur peut s'adapter à la déformation latérale associée à la réponse sismique des bâtiments. La déformation des bâtiments produit, dans le système de gravité, des forces et des moments secondaires dont il faut tenir compte dans la conception. Il est à noter que plus le système porteur de la charge de gravité est grand et rigide, plus il interagira avec le système de résistance aux forces sismiques (SFRS) dans un bâtiment en bois de grande hauteur. L'ensemble du système structural doit être conçu pour maintenir les effets P-δ prévus.

Il est d'une importance primordiale de s'assurer que le système porteur de charges de gravité peut s'adapter à la déformation latérale associée à la réponse sismique des bâtiments.

Aussi, les systèmes de gicleurs doivent être conçus pour s'adapter aux fléchissements ou aux déformations provoqués par les charges sismiques. Ils doivent aussi demeurer fonctionnels après un tremblement de terre, pour limiter les dégâts causés par les incendies qui pourraient survenir après un séisme. Voir également la section 4.3 du GBGH.

Les systèmes de gicleurs doivent demeurer fonctionnels après un tremblement de terre pour limiter les dégâts causés par les incendies qui pourraient survenir.

Système de résistance aux forces sismiques (SFRS)

La transmission des charges dues aux séismes doit être clairement définie lors du calcul des structures. Le SFRS doit également être clairement défini dans les plans de l'ingénieur (c.-à-d. que les plans doivent préciser les types de SFRS et le cheminement des forces jusqu'aux fondations).

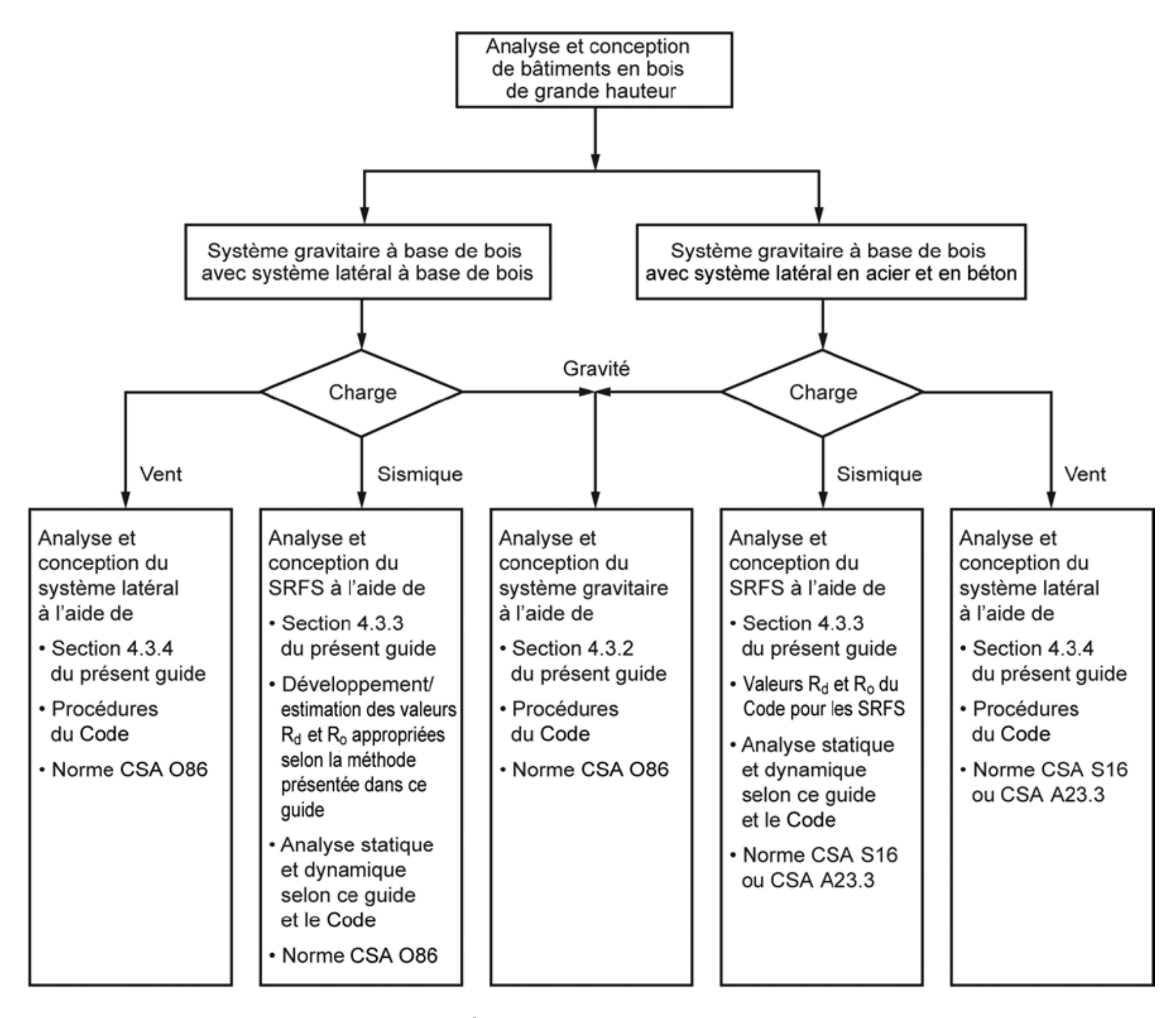
Ce système de résistance est la partie structurale qui, dans les calculs, offre la résistance exigée aux effets et aux forces dus aux séismes. La conception du SFRS tient compte de plusieurs facteurs, comme l'emplacement, le type de sol et la configuration de la structure. Un paramètre essentiel au calcul des forces sismiques est de tenir compte de la ductilité du SFRS (R_d) et de sa surrésistance (R_o). Ces deux paramètres sont les coefficients de modification de force liés à la ductilité et à la surrésistance du SFRS. Les valeurs R_d et R_o ainsi que les restrictions (liées à la hauteur du SFRS) qui s'appliquent sont fournies au tableau 4.1.8.9 du Code. Les hauteurs maximales pour des SFRS en bois, conçus selon la norme CSA O86-14, peuvent être de 15 m, 20 m ou 30 m, selon le type de système utilisé, la zone sismique et certaines autres restrictions. Également, pour des zones sismiques peu actives, notamment où $I_E \bullet F_a \bullet S_a(0,2)$ est inférieur à 0,35, aucune limite de hauteur n'est normalement attribuée aux SFRS.

Finalement, conformément à l'article 4.1.8.9.5) du Code, il est possible d'attribuer des valeurs R_d et R_o ainsi qu'une hauteur à un nouveau type de SFRS comme une *construction massive en bois*. Pour ce faire, il faut démontrer par des essais, des recherches et des analyses que le comportement du système est au moins équivalent à l'un des types usuels mentionnés dans le tableau 4.1.8.9 du Code. Pour plus d'information, consulter la sous-section 4.3.3.1 du GBGH et l'article 4.1.8.9 du Code.

Analyse et conception

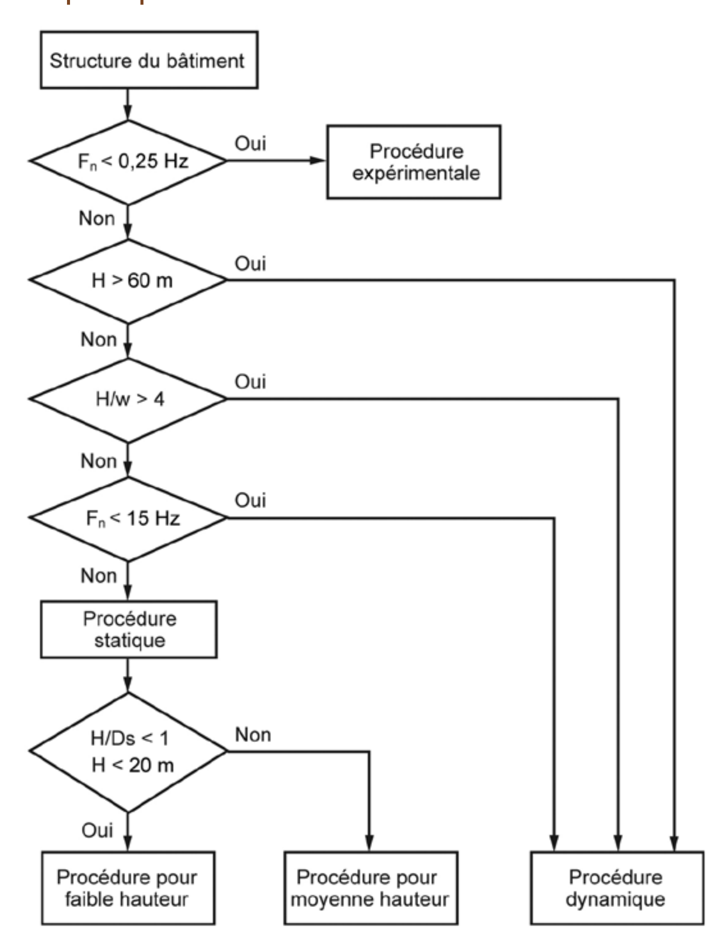
Le processus d'analyse et de conception de bâtiments en bois de grande hauteur est proposé à la sous-section 4.3.1.4 du GBGH. Les voies principales d'analyse et de conception de structures en bois de grande hauteur sont présentées à la figure 13. Également, un organigramme simplifié permettant de déterminer les charges de vent et de conception pour contrer leurs effets est présenté à la figure 14 (voir également la section 4.3 du GBGH).

Figure 13 Voies principales d'analyse et de conception de structures en bois de grande hauteur.



Les sections mentionnées dans cette figure sont celles du GBGH.

Figure 14 Organigramme simplifié permettant de déterminer les charges de vent et de conception pour contrer leurs effets.



La sous-section 4.3.3 du GBGH présente les méthodes d'analyse et de conception pour les charges sismiques. Plus de détails concernant la détermination des coefficients de modification des forces R_d et R_o y sont fournis. La sous-section 4.3.3.2 du GBGH présente les méthodes d'analyse sismique reconnues en ingénierie du bâtiment : procédure statique équivalente, analyses dynamiques linéaires, analyses statiques non linéaires et analyse dynamique non linéaire. Les données initiales nécessaires à l'élaboration des modèles numériques de structure en bois pour effectuer des analyses statiques et dynamiques sont abordées en détail à la section 4.2 du GBGH. Certains des paramètres les plus importants sont décrits ci-dessous (voir également la sous-section 4.3.3.2.5 du GBGH) :

Propriétés de l'élément

Les éléments dans un bâtiment en bois de grande hauteur seront fort probablement composés de produits de bois d'ingénierie, utilisés soit comme éléments de poutre ou de colonne, soit comme panneaux muraux structuraux, ou les deux. Dans le cas des bâtiments hybrides, certains éléments en acier, en béton ou en maçonnerie peuvent être présents. Aux fins d'analyse et de modélisation, la rigidité efficace des produits ou panneaux en bois d'ingénierie, avec ou sans l'effet des connecteurs, doit être déterminée. La limite inférieure, la limite supérieure ainsi que les meilleures

estimations des propriétés de résistance et de rigidité (courbe principale, raideur élastique initiale) doivent être déterminées. Cela peut être fait par un examen des données analytiques ou d'essais disponibles dans la documentation (y compris dans les fiches de produits de bois d'ingénierie fournies par les manufacturiers et les développeurs d'attaches brevetées), ou être obtenu en effectuant des essais expérimentaux supplémentaires sur des échantillons représentatifs pour des applications précises (voir la section 4.2 du GBGH).

Amortissement efficace

De façon générale, on considère que l'amortissement visqueux efficace pour les structures en acier et en béton se situe dans un intervalle de 2 à 5 %. Les bâtiments en bois ont en général des valeurs légèrement plus élevées d'amortissement visqueux. Par conséquent, il convient de supposer que les valeurs d'amortissement des éléments et des assemblages principaux de résistance à la charge pour inclusion dans les modèles linéaires dynamiques variant en fonction du temps des structures en bois se situent dans un intervalle de 3 à 5 %, à moins qu'il existe une justification à partir des données expérimentales disponibles pour utiliser des valeurs plus élevées. Il faut noter que l'effet d'amortissement hystérétique sera explicitement inclus dans les modèles dynamiques non linéaires. Aucun amortissement visqueux ne devrait être attribué aux éléments qui contiennent des dispositifs de friction.

Données initiales de mouvements sismiques aux fins d'analyse

Les données initiales de mouvements sismiques devraient être fournies par un expert-conseil en géotechnique pour un site qui utilise la sismicité de la zone et le profil du sol. Le CNB 2015 publiera une procédure recommandée pour établir des analyses spécifiques de variation en fonction du temps ainsi que certaines données recommandées variant en fonction du temps pour les différents sites.

Modèles hystérétiques et principaux pour les connexions et les assemblages

Les relations non linéaires charge-déformation pour les parties principales du système de résistance aux charges latérales (connexions et assemblages) devraient être obtenues si des analyses dynamiques non linéaires sont effectuées. Dans le cas où l'analyse documentaire ne permet pas d'obtenir une géométrie et une application précises, les essais devraient être effectués sur des échantillons représentatifs (représentatifs, par exemple, des matériaux à utiliser et des tolérances de fabrication et de montage) par des laboratoires agréés afin d'établir les courbes principales et hystérétiques appropriées pour les analyses (consulter la section 4.2 du GBGH pour plus de détails).

Interaction entre les propriétés et la structure du sol

Dans le cas des bâtiments en bois de grande hauteur, l'interaction entre le sol et la fondation pourrait affecter le rendement global du bâtiment. L'interaction sol-structure doit être modélisée en conséquence lors de l'élaboration des analyses dynamiques linéaires ou non linéaires. Habituellement, les propriétés du sol sont modélisées à l'aide d'une série de ressorts horizontaux et verticaux ; des procédures bien établies permettent de déterminer les propriétés de ces ressorts de sol. Il convient de communiquer avec un expert-conseil en géotechnique pour obtenir les propriétés appropriées des ressorts de

sol qui établiront la géométrie requise de fondation et les conditions du sol à la base des semelles. Les propriétés des ressorts pour les limites supérieure et inférieure devraient être utilisées afin de déterminer la réponse de l'immeuble en ce qui concerne les exigences de résistance et de déplacement.

Dans l'analyse sismique des bâtiments en bois de grande hauteur, il est recommandé d'effectuer une analyse linéaire statique (procédure requise par le Code) et une analyse du spectre de réponse dynamique pour déterminer la demande sismique globale à différents étages, puis une analyse statique non linéaire pour évaluer la séquence de rupture et la formation de rotules à différents étages. Pour plus de détails, voir le GBGH, section 4.3.

La sous-section 4.3.3.4 du GBGH présente les méthodes de conception sismique connues et acceptables : conception fondée sur la force, conception fondée sur le déplacement et conception fondée sur la performance. Traditionnellement, la conception structurale sismique était principalement établie selon la force. Les raisons sont en grande partie historiques et liées à la façon dont les concepts sont élaborés pour d'autres actions, comme la charge morte et vive (Priestley et coll., 2007). Dans de tels cas, nous savons que les considérations de force sont essentielles : si la résistance de la structure ne dépasse pas les charges appliquées, alors une défaillance se produira. Par conséquent, les dispositions pour la conception sismique incluses dans le Code (et dans d'autres codes de construction dans le monde) utilisent actuellement une approche fondée sur la force. Toutefois, cette procédure peut comporter certaines lacunes pour les charpentes en bois de grande hauteur. Pour ces raisons, les deux autres méthodes de conception proposées à la sous-section 4.3.3.4 du GBGH peuvent également être utiles.

Le Code ne précise pas de niveaux de performance exacts pour la conception fondée sur la performance des bâtiments soumis à diverses conditions de charge. Dans le cas où des solutions de conception basée sur la performance sont utilisées, les concepteurs devraient utiliser des critères de performance appropriés selon la documentation disponible. Une analyse détaillée de la conception basée sur la performance est présentée à la sous-section 4.3.3.4.3 du GBGH. Néanmoins, le Code précise les objectifs et la performance attendus pour la conception sismique (voir les directives, section 1.9 du présent guide et la section 4.3 du GBGH).

Le commentaire J du Code stipule également ceci : « *Les dommages causés aux bâtiments par les mouvements sismiques du sol sont une conséquence directe de la flèche latérale du système structural. La capacité d'un bâtiment à résister à ces mouvements du sol découle dans une large mesure de la capacité de son système structural à se déformer sans subir une perte importante de sa capacité portante. L'article 4.1.8.13* [du Code] *traite à la fois de la détermination des flèches latérales et des limites qui doivent être imposées à ces flèches pour assurer une performance satisfaisante.* »

Le Code fournit ensuite des orientations explicites pour déterminer les valeurs réalistes des déformations maximales prévues, y compris les effets de torsion. Le commentaire J du Code précise ce qui suit : « *Le paramètre de déformation qui représente le mieux le potentiel de dommages aux éléments structuraux et non structuraux est la déformation entre étages, aussi appelée glissement entre étages. Le paragraphe 4.1.8.13 (3)* [du Code] *impose des limites de déformation entre étages à un niveau quelconque de la structure. Habituellement, la limite est de 0,025hs (où la hauteur h_s = hauteur entre*

*étages), sauf pour les bâtiments de protection civile et les écoles, pour lesquels cette limite est de 0,01*h_s *et 0,02*h_s *respectivement. Comme l'a noté DeVall (2003), la limite de 0,025*h_s *représente l'état de "quasi-effondrement" (ce qui constitue l'équivalent de "dommages importants"), mais sans effondrement.*»

Le commentaire A du Code fournit des lignes directrices qui devraient être utilisées pour calculer les propriétés de résistance et de rigidité des nouveaux matériaux. Ce commentaire indique que la résistance des nouveaux matériaux devrait être définie sur la base d'une limite d'exclusion de 5 % et que leur rigidité, elle, devrait être définie sur la base d'une limite d'exclusion de 50 %. Lorsque l'échantillonnage statistique est utilisé, un niveau de confiance de 75 % est recommandé pour l'estimation de la limite d'exclusion. Il est également recommandé que ces critères soient utilisés pour déterminer la résistance de conception des nouveaux produits du bois et des connexions prévues dans les bâtiments en bois de grande hauteur. Voir la section 4.3 du GBGH pour de plus amples détails.

Le concept de calcul fondé sur la capacité est d'une importance majeure dans la conception sismique de bâtiments en bois de grande hauteur. Le calcul fondé sur la capacité est utilisé dans la conception sismique des structures en béton, en acier et en maçonnerie, et doit l'être également dans la conception sismique des bâtiments en bois de grande hauteur. Cette approche de conception est fondée sur la simple compréhension de la façon dont une structure est capable de supporter des déformations importantes lorsqu'elle est soumise à d'importants tremblements de terre. En sélectionnant certains modes de déformation du système de résistance aux charges latérales, certaines parties de la structure sont choisies, et correctement conçues et détaillées pour céder et dissiper l'énergie lorsque soumises à des déformations sévères. Ces modes critiques du système de résistance aux charges latérales, souvent qualifiées de «rotules plastique» ou «zones dissipatives», agissent comme dissipateurs d'énergie pour contrôler le niveau de résistance dans la structure. Tous les autres éléments structuraux peuvent être conçus comme non ductiles et sont protégés contre les actions qui pourraient provoquer une défaillance, car ils reçoivent une force supérieure à celle correspondant au développement de la force maximale réalisable dans les régions potentielles de rotules plastiques. En d'autres termes, les éléments non ductiles, résistant à des actions provenant des rotules plastiques, doivent être conçus pour résister sur la base de la surrésistance plutôt que sur celle de la résistance pondérée indiquée par le Code, cette dernière étant utilisée pour déterminer les forces requises dans les zones des rotules. Cette procédure de calcul de la «capacité» permet d'assurer que les moyens de dissipation d'énergie choisis peuvent être maintenus. Les principales étapes de la procédure de calcul par capacité pour des structures en bois sont présentées à la sous-section 4.3.3.5 du GBGH.

Le concept de calcul fondé sur la capacité est d'une importance majeure dans la conception sismique de bâtiments en bois de grande hauteur.

Il convient de noter que le calcul de la capacité n'est pas une technique d'analyse, mais un outil de conception. Il permet au concepteur de «dire à la structure quoi faire» et de la désensibiliser aux caractéristiques du tremblement de terre, qui sont, après tout, inconnues. Subséquemment, un détaillage judicieux de toutes les zones plastiques potentielles permettra à la structure de répondre aux intentions du concepteur. Une

approche de calcul de la capacité permettra d'assurer une réponse inélastique plus prévisible et satisfaisante dans les conditions pour lesquelles même les techniques d'analyse dynamique sophistiquées ne pourront produire davantage que des estimations grossières. Cela est lié au fait que la structure conçue selon la capacité ne devrait pas développer des mécanismes de rotules indésirables ou des modes de déformation non élastiques et, par conséquent, n'est pas sensible aux caractéristiques de tremblement de terre en ce qui concerne l'ampleur des déformations inélastiques. Le calcul de la capacité, lorsqu'il est combiné à un détaillage approprié de ductilité, permettra d'obtenir une dissipation maximale de l'énergie par l'intermédiaire de mécanismes plastiques sélectionnés de façon rationnelle. En outre, comme il était indiqué précédemment, les structures conçues ainsi seront extrêmement tolérantes à l'ampleur des exigences de ductilité que les futurs grands tremblements de terre pourraient imposer. De plus amples renseignements sur les essais et les données analytiques liés à diverses connexions de bois utiles dans l'implantation d'une procédure de calcul de la capacité pour les bâtiments en bois de grande hauteur sont donnés à la section 4.2 du GBGH.

Plans et devis

Outre les exigences énumérées au Code en matière de dessins techniques (voir la sous-section 2.2.4 de la division C du Code), les renseignements énumérés ci-dessous sont exigés dans les documents de conception structurale d'un bâtiment en bois de plus de 6 étages.

Systèmes de résistance aux charges gravitaires

Les éléments suivants, au minimum, doivent apparaître sur les dessins de structure :

a) Paramètres généraux : l'illustration complète de la répartition des charges de gravité, c'est-à-dire les surcharges dues à l'usage (réparties uniformément et concentrées) et les charges permanentes. On peut exiger des plans repères montrant les charges en présence pour décrire adéquatement la répartition des charges sur les planchers. En ce qui a trait aux toits, il faut inclure les diagrammes de charges de neige illustrant, notamment, l'accumulation, le glissement et les noues ;

b) Les spécifications et les normes concernant les éléments de *construction massive en bois* : le *bois lamellé-collé*, le *bois lamellé-croisé*, les produits de bois d'ingénierie (normalisés ou exclusifs), les produits de traitement des matériaux, les matériaux de renfort, les fixations en acier, les boulons d'ancrage et les autres éléments de quincaillerie ou autres matériaux entrant dans la construction du bâtiment ;

c) Les dimensions des poutres et dalles ainsi que les caractéristiques des connexions et des éléments de support connexes, comme les modèles de clouage/vissage (types, longueurs, pénétration minimale, espacement, etc.) ;

d) Les flux de cisaillement autour des ouvertures et à la jonction des systèmes de résistance aux forces sismiques (SFRS) ;

e) Les éléments des murs et les poteaux, y compris les détails de leur support ;

f) Les détails des connexions plancher-plancher relatives aux charges de gravité ;

g) Les détails des connexions des éléments porteurs aux fondations en béton.

Systèmes de résistance aux forces latérales (vent et séisme)

Les éléments suivants, au minimum, doivent apparaître sur les dessins de structure :

a) Paramètres généraux : l'illustration complète de la répartition des charges latérales, c'est-à-dire les données pour le vent (incluant les diagrammes), les données sismiques, les caractéristiques de l'emplacement, la catégorie de risque, le type de SFRS, le coefficient de modification de force lié à la ductilité du SFRS (R_d) et le coefficient de modification de force de surrésistance (R_o) ;

b) Caractéristiques intrinsèques du bâtiment : la période de conception du bâtiment dans chaque direction pour les charges sismiques et les calculs de déformation ;

c) La force de calcul sismique latérale agissant à la base de la structure et aux étages dans les deux directions ;

d) Les prévisions de la flèche horizontale du bâtiment due aux charges de vent et aux charges sismiques ;

e) Les détails des systèmes de résistance aux forces latérales sans égard au calcul des charges de gravité ;

f) Les élévations des systèmes de résistance latérale, les détails du transfert de cisaillement, les modèles de clouage/vissage (types, longueurs, pénétration minimale, espacement, etc.), ainsi que les ouvertures ;

g) Les spécifications et les normes concernant les éléments de *construction massive en bois* : le *bois lamellé-collé*, le *bois lamellé-croisé*, les produits de bois d'ingénierie (normalisés ou exclusifs), les produits de traitement des matériaux, les matériaux de renfort, les fixations en acier, les boulons d'ancrage et les autres éléments de quincaillerie ou autres matériaux entrant dans la construction du bâtiment ;

h) La disposition générale et les détails des dispositifs d'ancrage (y compris les dispositifs de compensation du retrait, s'il y a lieu), ainsi que leur emplacement sur le plan ;

i) L'emplacement des dispositifs d'ancrage sur les plans de structure des fondations de béton, y compris tout renfort additionnel ;

j) Les détails des diaphragmes, les éléments de transfert et les détails des membrures ;

k) Les modèles de clouage/vissage (types, longueurs, pénétration minimale, espacement, etc.) et le blocage (fourrures) des diaphragmes de plancher et de toit ;

l) Le cheminement des efforts dans les diaphragmes, dans les ouvertures et à la jonction des murs de refend ;

m) Les détails du cisaillement latéral à travers les planchers.

Détails additionnels à inclure sur les dessins

Les éléments suivants doivent également être examinés lors de la conception et apparaître sur les dessins de structure :

- **a)** Les tolérances de construction ;
- **b)** Le retrait global prévu, à la suite du retrait pour chaque étage ;
- **c)** Les valeurs de retrait de tous les matériaux structuraux prévus et de tous les autres matériaux en bois susceptibles d'influer sur une déformation verticale du bâtiment découlant du retrait des éléments en bois. Il faut inclure une estimation de la déformation verticale potentielle afin d'assurer la construction d'éléments non porteurs selon des méthodes appropriées ; ces éléments sont par exemple des joints d'expansion dans les colonnes de plomberie (les matériaux doivent permettre un certain mouvement) ;
- **d)** Le système de détermination du retrait normalisé pour le bois entrant dans la construction du projet (hypothèses de calcul : coefficient de retrait, teneur en humidité initiale et finale) ;
- **e)** Toute entaille réalisée ou réalisable sur les éléments structuraux de plancher, de toiture et de mur.

2.10. Sécurité et protection incendie durant la construction

Les exigences de sécurité et de protection incendie des bâtiments dictées dans le Code et dans ce document font référence à des exigences de protection passive et de protection active entièrement fonctionnelles. La protection passive comprend essentiellement les concepts de résistance au feu (compartimentation et capacité structurale), alors que la protection active consiste à procurer une protection incendie à partir d'un système de détection automatique d'incendie ou de suppression de l'incendie (comme des gicleurs).

Or, durant la construction de bâtiments, ces mesures de protection active et passive ne sont pas nécessairement en place, ni opérationnelles. Ainsi, advenant un incendie durant la construction, il peut croître et se propager beaucoup plus rapidement que dans un bâtiment adéquatement compartimenté par l'utilisation de séparations ainsi que de murs coupe-feu et de gicleurs opérationnels.

Dès la planification du projet, il est essentiel de consulter les services de protection incendie au sujet de la réglementation applicable sur le territoire pendant la construction d'un tel bâtiment. Des dispositions additionnelles, concernant notamment l'élaboration d'un plan de sécurité incendie, le nombre d'extincteurs portatifs requis sur le chantier et les accès pour les véhicules, pourraient être exigées. Par ailleurs, il est également possible que le service incendie applique la section 5.6 du Code national de prévention des incendies – Canada 2010, qui comporte des exigences de sécurité incendie lors de la construction d'un bâtiment.

Il est essentiel de consulter les services de protection incendie au sujet de la réglementation applicable pendant la construction. Des dispositions additionnelles pourraient être exigées. Il s'avère également primordial de prévoir un programme de gestion et de contrôle des risques sur le chantier.

Outre les dispositions des lignes directrices du présent guide, il s'avère primordial de prévoir un programme de gestion et de contrôle des risques sur le chantier, programme implanté par un directeur des travaux bien informé des exigences du service incendie et des assureurs. Un tel programme devrait notamment aborder les aspects suivants, sans nécessairement s'y limiter :

- Les réchauds portatifs ;
- L'interdiction du chauffage au propane en cours de chantier, ou son balisage pour s'assurer qu'il ne représentera pas un risque d'incendie ;
- La sécurité du chantier (gardien de sécurité, service de patrouille, caméras de surveillance, etc.) ;
- Le travail à chaud (soudure, découpage, pose de toiture à chaud, goudronnage, etc.) ;
- L'entreposage sécuritaire des matériaux combustibles et des carburants ;
- La gestion des déchets et des débris (cueillette journalière, aucun brûlage au chantier, etc.) ;
- L'installation et l'inspection des travaux électriques.

Il est également recommandé de s'assurer que le chantier respecte les normes de la Commission de la sécurité et de la santé du travail (CSST).

Finalement, la préfabrication des assemblages de murs et de planchers devrait être privilégiée dès le début du projet. En effet, la préfabrication des éléments raccourcit grandement les délais de construction. Également, lorsque les panneaux de gypse sont installés en usine, la probabilité d'incendie au chantier est réduite.

La préfabrication des assemblages de murs et de planchers devrait être privilégiée.

De plus amples renseignements sur les mesures de sécurité et de protection incendie durant la construction peuvent être obtenus dans le GBGH, section 5.13, le Code national de prévention des incendies – Canada 2010, la norme NFPA 241 et plusieurs manuels de référence du Conseil canadien du bois.

2.11. Directives d'ordre administratif

Il est important que les futurs propriétaires ou copropriétaires soient bien informés des particularités du bâtiment de *construction massive en bois*, entre autres en ce qui concerne l'importance de conserver les plaques de gypse assurant l'*encapsulation* des éléments structuraux en bois. C'est pour cette raison qu'un programme d'entretien doit être transmis aux futurs propriétaires.

Le propriétaire ou le copropriétaire doit obtenir, de l'architecte ou de l'ingénieur ayant conçu le projet et ayant la responsabilité de la surveillance des travaux, une attestation indiquant que les lignes directrices énoncées dans le présent guide ont été respectées.

L'attestation remise au propriétaire ou au copropriétaire est considérée par la RBQ comme une mesure équivalente et servira à déterminer quels projets sont conçus selon les critères du présent guide. Comme cette attestation sera liée au bâtiment tout au long de sa durée de vie utile, il est important qu'elle soit conservée sur les lieux aux fins de consultation.

Partie 3. Équipe de travail et coordination des travaux

La coordination de tous les aspects de la conception et de la construction susceptibles d'avoir une répercussion sur l'intégrité du bâtiment est d'une importance capitale. La tenue d'une réunion de démarrage entre les professionnels et l'entrepreneur est essentielle afin de clarifier certains éléments concernant la réalisation des dessins techniques. Les interactions entre les différents corps de métier, le sujet des percements et des entailles dans les éléments structuraux, lorsqu'ils sont permis, ainsi que les questions pertinentes concernant le retrait dimensionnel doivent notamment être abordés. Les intervenants des métiers de mécanique du bâtiment (dont l'électricité et la plomberie) doivent aussi assister à cette réunion. Il faut entre autres indiquer clairement à l'équipe que le découpage des éléments structuraux pour faciliter le passage des installations et équipements techniques et des services est formellement interdit sans l'approbation de l'ingénieur en structure responsable du projet.

La tenue d'une réunion de démarrage entre les professionnels et l'entrepreneur est essentielle.

Également, la question du retrait du matériau bois qui compose la charpente du bâtiment doit faire l'objet d'une coordination avec tous les membres de l'équipe de conception, étant donné que le retrait influe non seulement sur la structure et l'enveloppe du bâtiment, mais aussi, par exemple, sur les services verticaux, les systèmes de gicleurs et l'enveloppe du bâtiment.

Pour atténuer les risques de retrait, de gonflement ou de tassement et leurs effets néfastes sur la conception des bâtiments en bois de grande hauteur, les pratiques suivantes doivent être privilégiées par l'équipe de travail :

a) Réduire la teneur en humidité (TH) initiale du bois et des produits du bois permettra de diminuer considérablement la quantité de mouvements verticaux pouvant se produire ;

b) Il est très important de protéger le plus possible le bois et les produits du bois des sources d'eau pendant la construction et la vie utile du bâtiment. L'entreposage extérieur des produits du bois sur le chantier de construction devrait être réduit. Les matériaux devraient être livrés juste à temps pour l'installation afin d'éviter le mouillage potentiel. Tous les produits devraient être emballés lors de la livraison. Des mesures devraient être prises à l'avance pour minimiser le mouillage sur le chantier. Les produits composites à base de bois et de bois d'ingénierie requièrent généralement plus d'attention pendant l'entreposage et la manipulation, la plupart étant fabriqués dans des conditions de très faible TH avec une plus grande exposition des fibres d'extrémité et des autres surfaces et plus d'espaces créés lors de la fabrication. Par conséquent, ces produits peuvent être plus sensibles à l'absorption d'humidité lors d'incidents de mouillage que le bois de sciage traditionnel. Un chantier de construction protégé contre les intempéries est recommandé ;

Il est très important de protéger le plus possible le bois et les produits du bois des sources d'eau pendant la construction et la vie utile du bâtiment.

c) Une séquence de construction appropriée joue également un rôle important dans la réduction du mouillage, du retrait et des autres problèmes liés à l'humidité qui en résultent. Le gonflement causé par l'humidité créée par les activités de construction comme la coulée d'une chape de béton devrait être pris en considération ; ce type d'activité devrait être achevé aux premières étapes de la construction. L'utilisation d'éléments préfabriqués et séchés à base de bois ou d'éléments en béton est recommandée. Le chapitre 7 du GBGH fournit des renseignements supplémentaires sur la préfabrication ;

d) Les produits du bois dans des conditions protégées peuvent sécher naturellement lorsqu'ils sont bien aérés et que le niveau d'humidité de l'air n'est pas trop élevé. Un délai suffisant doit être prévu pour le séchage. Dans le cas où les éléments en bois sont exposés à la pluie pendant le transport ou la construction, les murs et les toits ne doivent pas être refermés avant que les matériaux de la structure n'aient eu le temps de sécher pour atteindre un niveau acceptable d'humidité. Dans des conditions froides et humides, l'utilisation de chauffage peut efficacement sécher le bois et améliorer l'efficacité de la construction. Les composants rigides (équipement technique, tuyaux, cages d'ascenseur, parement) devraient être installés aussi tard que la construction le permet afin de minimiser les dommages liés au tassement ultérieur de la structure en bois ;

e) Outre le retrait, les autres causes de mouvement vertical dans les structures de bois qui devraient être prises en considération par l'équipe de travail lors de la conception incluent les effets des charges verticales (déformation causée par les charges de compression, y compris la déformation élastique instantanée et le fluage) et les effets de la fermeture des espaces entre les éléments (tassement) ;

f) Le retrait différentiel entre les différents types de produits du bois et entre le bois et les autres matériaux comme l'acier et le béton doit également être pris en compte. Ce type de retrait se produit par exemple là où les éléments en bois de la structure sont reliés à des composants rigides d'autres matériaux, comme la maçonnerie (parement), le béton (cages d'ascenseur), les éléments mécaniques et la plomberie, et là où les produits du bois comme le bois d'œuvre, le bois massif et les produits de bois d'ingénierie sont utilisés. Dans les composants en acier des assemblages, l'utilisation de trous oblongs qui permettent le mouvement des goujons ainsi que l'élimination du contact direct entre le béton, la maçonnerie et les éléments à base de bois sont parmi les détails de conception les plus favorables.

Le retrait différentiel entre les différents types de produits du bois et entre le bois et les autres matériaux comme l'acier et le béton doit être pris en compte.

Partie 4. Entretien du bâtiment

En vertu du Code de sécurité, un propriétaire a l'obligation de maintenir son bâtiment « *en bon état de fonctionnement et de sécurité* » (Code de sécurité du Québec, chapitre VIII – Bâtiment, et Code national de prévention des incendies – Canada 2010 [modifié], art. 345).

Le programme d'entretien doit être adapté aux besoins particuliers de chaque bâtiment. Par ailleurs, le propriétaire doit être bien informé des obligations d'entretien qu'il devra assumer à court et à long termes selon le type de construction de son bâtiment. Le concepteur devra fournir un registre d'entretien aux futurs propriétaires.

Pour de plus amples renseignements, le lecteur peut consulter le chapitre 9 du GBGH, Surveillance et entretien.

Partie 5. Autres lois et règlements applicables au projet

Si toutes les exigences des lignes directrices énoncées au présent guide sont respectées, il n'est pas requis d'acheminer une demande de mesures équivalentes à la RBQ. Le bâtiment est ainsi présumé conforme à la réglementation. Toutefois, ceci ne dispense pas les professionnels et les constructeurs de leur obligation de conformité à toutes les dispositions réglementaires applicables. Le demandeur demeure également tenu d'obtenir, le cas échéant, toute autre autorisation requise par toute loi ou tout règlement.

La RBQ pourra en tout temps exiger que les plans et devis ainsi que les rapports de surveillance des travaux et les attestations lui soient remis aux fins de vérification et de contrôle.

Lorsque le chapitre Bâtiment du Code de construction permettra la construction d'un bâtiment de *construction massive en bois* de plus de 6 étages, ces lignes directrices ne seront plus valides.

Si toutes les exigences des lignes directrices sont respectées, il n'est pas requis d'acheminer une demande de mesures équivalentes à la RBQ. Le bâtiment est ainsi présumé conforme à la réglementation.

Lorsque le chapitre Bâtiment du Code de construction permettra la construction d'un bâtiment de *construction massive en bois* de plus de 6 étages, ces lignes directrices ne seront plus valides.

Conclusion

Le présent guide, destiné aux concepteurs et constructeurs, énonce les conditions déterminées par la RBQ en vertu de l'article 127 de la Loi sur le bâtiment pour approuver l'utilisation du bois en tant que matériau structural différent de ce qui est prévu au Code de construction du Québec, chapitre I – Bâtiment (CNB 2010 modifié). Un bâtiment conçu et construit en respectant les conditions déterminées par la RBQ et en tenant compte des spécifications techniques décrites dans le présent guide est présumé satisfaire aux normes prévues au Code et permet d'assurer la sécurité du public.

Rappelons que les systèmes de construction dont il est question dans ce guide sont de ces types :

- Poutres et colonnes en gros bois d'œuvre, en *bois de charpente composite* et en *bois lamellé-collé* (*glue-laminated timber, glulam*) ;
- *Bois lamellé-croisé* (*cross-laminated timber*, CLT) ;
- *Hybride* (bois, acier et/ou béton) ;
- Une combinaison des systèmes précédents.

La RBQ diffuse ce guide élaboré en collaboration avec les experts du centre de recherche FPInnovations, qu'elle a mandatés. Ce document est basé sur l'édition 2010 du Code et les normes y référant, et sur le *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* (GBGH), publié par FPInnovations en 2014. Par le fait même, la RBQ et FPInnovations désirent remercier l'ensemble des auteurs et réviseurs qui ont collaboré à la rédaction du GBGH.

Le présent guide s'appuie également sur le projet de démonstration d'un bâtiment en bois de grande hauteur situé dans la ville de Québec. Celui-ci est l'un des trois projets sélectionnés lors d'un appel de projets de bâtiments de grande hauteur lancé en 2013 par Ressources naturelles Canada et le Conseil canadien du bois. Les conditions minimales énoncées dans ce guide sont basées sur les résultats d'essais effectués au Conseil national de recherches Canada (CNRC), qui viennent confirmer les niveaux de performance de ce type de construction.

Finalement, en mai 2013, le gouvernement du Québec publiait la Charte du bois, annonçant ainsi que la RBQ allait faciliter et permettre la construction de bâtiments en bois comme ailleurs dans le monde. La diffusion de ce guide s'inscrit ainsi dans la volonté du gouvernement de permettre une utilisation équitable du bois dans la construction au Québec tout en atteignant le niveau de sécurité exigé par le Code.

Liste des figures

Note : les photos et les figures de ce guide sont la propriété de FPInnovations, sauf indications contraires.

Références

AHSRAE, *ASHRAE Handbook, Fundamentals* (SI Edition), Atlanta (Géorgie, États-Unis) : American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009.

ANSI, « Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber (ANSI/APA PRG 320-2012) », Tacoma (Washington, États-Unis) : APA – The Engineered Wood Association, 2012.

APEGBC, *Structural, Fire Protection and Building Envelope – Professional Engineering Services for 5 and 6 Storey Wood Frame Residential Building Projects (Mid-Rise Buildings),* Burnaby (Colombie-Britanique) : Association of Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia, 2011.

ASTM, ASTM D5456-09a : « Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products », West Conshohocken (Pennsylvanie, États-Unis) : ASTM International, 2009.

BC Housing, Homeowner Protection Office (HPO), *Building Enclosure Design Guide – Wood-frame Multi-unit Residential Buildings*, Burnaby (Colombie-Britanique) : HPO, 2011.

CCMC, *Technical Guide for Structural Composite Lumber*, Ottawa (Ontario) : Centre canadien de matériaux de contruction, 2006.

CNRC, Code de sécurité du Québec, chapitre VIII – Bâtiment, et Code national de prévention des incendies – Canada 2010 (modifié), Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2010.

CNRC, Code national de prévention des incendies – Canada 2010, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2010.

CNRC, *Supplement to the National Building Code of Canada*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 1990.

CSA, CSA O122-06 : « Structural Glued-Laminated Timber », Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2006.

CSA, CSA O177-06 : « Règles de qualification des fabricants de bois de charpente lamellé-collé », Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2011.

CSA, CSA O86-14 : « Engineering Design in Wood », Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2014.

CWC, *Fire Safety and Security : A Technical Note on Fire Safety and Security on Construction Sites in British-Columbia*, Ottawa (Ontario) : Canadian Wood Council, 2012.

CWC, *Fire Safety Design in Buildings*, Ottawa (Ontario) : Canadian Wood Council, 1997.

C. Dagenais, *Manuel sur le bois lamellé-croisé* (édition canadienne), chapitre 8 – « Comportement au feu des éléments de charpente en bois lamellé-croisé », Québec (Québec) : FPInnovations, 2014.

G. Finch, J. Wang, et D. Ricketts, *Guide for Designing Energy-Efficient Building Enclosures for Wood-Frame Multi-Unit Residential Buildings in Marine to Cold Climate Zones in North America, Special Publication SP-53*, Vancouver (Colombie-Britanique) : FPInnovations, 2013.

S. Gagnon et C. Pirvu, *Manuel sur le bois lamellé-croisé*, Québec (Québec) : FPInnovations, 2011.

E. Karacabeyli et C. Lum, *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* (Publication spéciale SP-55F), Pointe-Claire (Québec) : FPInnovations, 2014.

J. Lstiburek, *Builder's Guide Series*, Somerville (Massachusetts, États-Unis) : Building Science Press, 2004-2009.

NFPA, NFPA 13 : « Standard for the Installation of Sprinkler Systems », Quincy (Massachusetts, États-Unis) : National Fire Protection Association, 2013.

NFPA, NFPA 241 : « Standard for Safeguarding Construction, Alteration, and Demolition Operations », Quincy (Massachusetts, États-Unis) : National Fire Protection Association, 2013.

L. Osborne, *CLT Fire Resistance Tests in Support of Tall Wood Building Demonstration Projects (Project No. 301009338)*, Québec (Québec) : FPInnovations, 2014.

L. Osborne et C. Dagenais, *Full-Scale Mass Timber Shaft Demonstration Fire – Preliminary Report (Project No. 301009899)*, Québec (Québec) : FPInnovations, 2015.

L. Osborne, C. Dagenais et N. Bénichou, *Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report (Project No. 301006155) – Final Report 2012/13*, Québec (Québec) : FPInnovations, 2012.

M.J.N. Priestley, G.M. Calvi et M.J. Kowalsky, *Displacement-based Seismic Design of Structures*, Pavia (Italie) : IUSS Press, 2007.

RBQ, *Construction d'habitations en bois de 5 ou 6 étages*, Montréal (Québec) : Régie du bâtiment du Québec, 2013.

J. Straube, et E. Burnett, *Building Science for Building Enclosures*, Somerville (Massachusetts, États-Unis) : Building Science Press, 2005.

J. Straube, *High Performance Enclosures : Design Guide for Institutional, Commercial and Industrial Buildings in Cold Climates*, Somerville (Massachusetts, États-Unis) : Building Science Press, 2013.

B. Taber, G. D. Lougheed, J. Z. Su et N. Bénichou, *Alternative Solution for Mid-Rise Wood Construction : Full-Scale Apartment Fire Test with Encapsulated Cross Laminated Timber Construction, CLIENT REPORT A1-100035-01.10*, Ottawa (Ontario) : National Research Council Canada, 2013.

ULC, CAN/ULC S101 : « Méthodes d'essais normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2007.

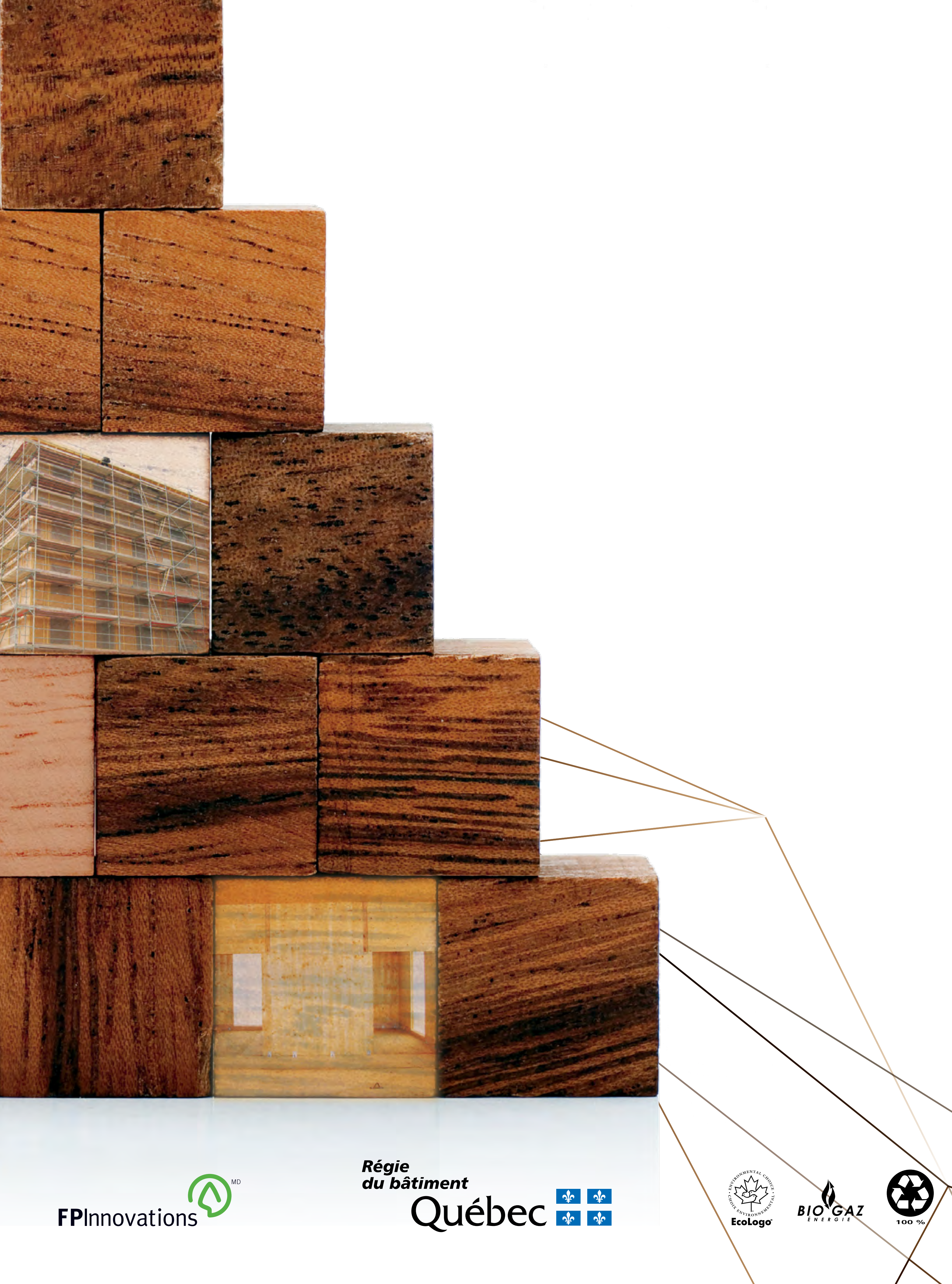
ULC, CAN/ULC S104 : « Standard Method for Fire Tests of Door Assemblies, Toronto », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2010.

ULC, CAN/ULC S114 : « Méthode d'essai normalisée pour la détermination de l'incombustibilité des matériaux de construction », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2005.

ULC, CAN/ULC S115 : « Méthode normalisée d'essais de résistance au feu des dispositifs coupe-feu », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2011.

ULC, CAN/ULC S134 : « Méthode normalisée des essais de comportement au feu des murs extérieurs », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 1992.

ULC, CAN/ULC S139 : « Méthode d'essai normalisée de résistance au feu pour l'évaluation de l'intégrité des câbles électriques », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2012.


FPInnovations
Régie
du bâtiment
Québec
EcoLogo
BIO GAZ
ÉNERGIE
100 %

2405(2015-03)